Digitized by Google

THE NEWBERRY LIBRARY CHICAGO
N
4831
53

University of Wisconsin
LIBRARY
Class LH
Book 7AN7
E
2-3

UNIVERSITY OF WISCONSIN LIBRARY

Digitized by Google

THE
NEWBERRY
LIBRARY
CHICAGO
N
4831
1848-53

University of Wisconsin
LIBRARY
Class LH
Book 7AN7
E
2-3

UNIVERSITY OF WISCONSIN
LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google

ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

ERGÄNZUNGSBAND II.

Digitized by Google

ANNALEN
DER
PHYSIK
UND
CHEMIE.

ERRY
RARY

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

ERGÄNZUNGSBAND.

(NACH BAND LXXII EINZUSCHALTEN.)

NEBST DREI KUPFERTAFELN.

LEIPZIG, 1848.
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Digitized by Google

Digitized by Google

40896
13 E '67
LH
7AN7.
E
2-3

Inhalt

des Ergänzungsbandes II der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

Seite

I. Untersuchungen über die Elasticität; von G. Wertheim. (Erste Abhandlung: Von der Elasticität und Cohäsion der Metalle.) 1

II. Untersuchungen über die Elasticität; von Demselben. (Zweite Abhandlung: Von der Elasticität und Cohäsion der Legirungen.) 73

III. Untersuchungen über die Elasticität; von Demselben. (Dritte Abhandlung: Vom Einfluſs des galvanischen Stroms und des Elektromagnetismus auf die Elasticität der Metalle.) 99

IV. Ueber die Elasticität und Cohäsion verschiedener Glassorten; von E. Chevandier und Wertheim. 115

V. Ueber die Spannkraft des Wasserdampfs; von V. Regnault. 119

VI. Ueber die Anwendung einer neuen empirischen Formel auf die Spannung der Dämpfe; von E. Barry. 177

VII. Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe; von C. Holtzmann. 183

VIII. Bodentemperatur zu Trevandrum. 191

Zweites Stück.

I. Ueber die Liquefaction und Solidification der gewöhnlich als Gase existirenden Körper; von M. Faraday. 193

II. Zusätzliche Bemerkungen über die Condensation der Gase; von Demselben. 219

Digitized by Google

Seite

III. Ueber die Zusammendrückung der Flüssigkeiten; von G. Aimé. 228

IV. Ueber die Erscheinungen bei einer freien und der Wirkung der Schwere entzogenen flüssigen Masse; von J. Plateau. . . . 249

V. Beobachtungen gewisser Fälle von elliptischer Polarisation des Lichts durch Reflexion; von Baden Powell. 285

VI. Ueber die Polarisation des Lichts an Metallen; von Jamin. 299

VII. Ueber die durch polarisirtes Licht in homogenen Flüssigkeiten hervorgebrachten Farben; von A. Fresnel. 304

VIII. Ueber die Reflexion des Lichts; von A. Fresnel. . . . 332

IX. Ueber das Phänomen der Interferenz zweier Lichtstrahlen im Falle groſser Gangunterschiede; von H. Fizeau und L. Foucault. 355

X. Beobachtungen über Capillarität; von Henry. 358

XI. Ueber eine Methode, staubförmigen Graphit in eine compacte Masse zu verwandeln; von W. Brockedon. 362

XII. Ueber eine aus der Atmosphäre niedergefallene Substanz; von Tizenhauz. 364

XIII. Notizen. — 1) Meteorsteinfall bei Werchne Tschirskaja Stanitza, S. 366. — 2) Muthmaſslicher Meteorsteinfall zu Fayetteville, S. 367. — 3) Phosphorsäure im Mineralreiche, S. 368.

Drittes Stück.

I. Ueber die Volta'sche Gasbatterie. Versuche, um die Ursache ihrer Wirkung und ihre Anwendung auf Eudiometrie zu ermitteln; von W. R. Grove. 369

II. Ueber die Volta'sche Gasbatterie. Volta'sche Wirkung von Phosphor, Schwefel und Kohlenwasserstoffen; von Demselben. 407

III. Ueber die Gesetze der Doppelbrechung des Quarzes; von James Mac-Cullagh. 425

IV. Ueber die Reflexion von Metallen; von J. Jamin. 437

V. Ueber die mechanischen Eigenschaften des Holzes; von Chevandier und Wertheim. 481

VI. Ueber die Schallschwingungen des Wassers; von W. Wertheim. 497

Digitized by Google

Seite

VII. Ueber die optischen Erscheinungen, zu welchen die Wolken mit Eistheilchen Anlaſs geben; von A. Bravais. . . . 500
VIII. Ueber die sogenannten Regenflecke auf den Gebirgsseen; von Simon. 507
IX. Beitrag zur Eudiometrie; von K. Brunner. 509
X. Notizen. — 1) Ungewöhnliche Regenfälle in mittleren Breiten, S. 511. — 2) Tägliche Variation der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus zu Bosekop in Finnmarken, beobachtet von den HH. Lottin und Bravais, S. 512.

Viertes Stück.

I. Ueber die Reflexion und Doppelbrechung des Lichts durch metallisch undurchsichtige Krystalle; von H. de Sénarmont. . 513
II. Ueber das Phänomen des weiſsen Regenbogens; von A. Bravais. 562
III. Ueber den Refractions- und Dispersionsindex des Eises; von Demselben. 576
IV. Ueber die Theorie der elastischen Flüssigkeiten und die latente Wärme der Dämpfe; von Pouillet. 579
V. Bemerkungen über die Temperatur des Weltmeers in verschiedenen Tiefen; von E. Lenz. 615
VI. Ueber das Delta und die Alluvionen des Missisippi; von Ch. Lyell. 626
VII. Ungewöhnliches Wallen des Ontario-See's; von C. Dewey. 630

Digitized by Google

Nachweis zu den Kupfertafeln.

Taf. I. — Wertheim, Fig. 1 und 2, S. 9; Fig. 3, S. 11; Fig. 4, S. 12; Fig. 5, S. 14; Fig. 6, S. 15; Fig. 7, 8 und 9, S. 17; Fig. 10, S. 18; Fig. 11, S. 100; Fig. 12, S. 110.

Taf. II. — Regnault, Fig. 1, S. 126 und 132; Fig. 2 und 3, S. 132; Fig. 4, S. 137; Fig. 5, S. 138; Fig. 5 *bis* S. 140; Fig. 6, S. 152; Fig. 7, S. 158; Fig 8, S. 154; Fig. 9, S. 158; — Plateau, Fig. 11, S. 258; Fig. 12, S. 259; Fig. 13, S. 264; Fig. 14 und 15, S. 279; Fig. 16, 17 und 18, S. 280.

Taf. III. — Faraday, Fig. 1 und 2, S. 194. — Grove, Fig. 3, 4 und 5, S. 372; Fig. 6 und 7, S. 373; Fig. 8, 9, 10 und 11, S. 374; Fig. 12, S. 379; Fig. 13, S. 381; Fig. 14, S. 393; Fig. 15, S. 416; Fig. 16, S. 408 und 416; Fig. 17 und 18, S. 419; Fig. 19, S. 422.

Berichtigung.

(Schluſs des Aufſatzes von Pouillet, S. 514.)

Umgekehrt werden die Resultate bei der Kohlensäure; man muſs, wie gesagt, hier comprimiren, statt expandiren. In den vorstehenden Tafeln bezeichnen also t', p', c' Temperatur, Druck und spec. Wärme eines Kilogrm. Kohlensäure, das anfangs z. B. bei 0° und dem Spannungsmaximo genommen, dann in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäſse beliebig comprimirt worden, und nun erkaltet, um die Temperatur t und das entsprechende Druckmaximum p anzunehmen.

Wie im anderen Fall muſs $\left(\frac{p}{p_1}\right)^z > 0$ und < 1 seyn, und folglich noch $y > z$. Daraus ergiebt sich, nach Vollziehung des Calculs mit bekannten Daten, daſs 1 Kilogrm. Kohlensäuredampf, beim Maximum der Spannung, gebracht auf den höchsten Grad von Wärme und Zusammendruck, nicht 14 Wärmeeinheiten weniger als dasselbe Kilogrm. bei 0° und 30 oder 40 Atmosphären enthalten kann.

Durch Ausdehnung dagegen kann die Kohlensäure unendlich wachsende Wärmemengen empfangen.

Hiernach begreift man, daſs ein Gemenge zweier Dämpfe von entgegengestztem Typus, in verschiedenen Verhältnissen, bei Zusammendrückung oder Ausdehnung sehr verwickelte Erscheinungen geben müsse. Es hätte vielleicht groſses Interesse unter diesem Gesichtspunkt die Veränderungen zu studiren, die in den mehr oder weniger mit Wasserdampf beladenen Schichten der Atmosphäre durch plötzliche Barometerveränderungen hervorgebracht werden können.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. II. ERGÄNZUNG. St. 1.

I. *Untersuchungen über die Elasticität;*
von Herrn G. Wertheim.

Erste Abhandlung [1]).

Von der Elasticität und Cohäsion der Metalle.

I. — Das Studium der Elasticität, der Cohäsion und überhaupt der mechanischen Eigenschaften der Körper bietet ein doppeltes Interesse dar: ein theoretisches, wegen des innigen Zusammenhangs mit der Constitution der Körper und der Natur der Molecularkräfte; ein praktisches, wegen ihrer Wichtigkeit in den Anwendungen. Auch ist die Zahl der Untersuchungen, die in dieser Richtung gemacht worden sind, so groſs, daſs man kaum das Geschichtliche derselben anführen kann, ohne nicht die Gränzen einer Abhandlung zu überschreiten.

Zu allen Zeiten haben sich die Mathematiker bemüht, aus den wahrscheinlichsten Hypothesen über die Constitution der Körper die Gesetze dieser Eigenschaften abzuleiten, während die Physiker gesucht haben, sich von dem experimentellen Studium ihrer Gesetze zur Kenntniſs der Molecularkräfte zu erheben. Hooke, Jacob und Daniel Bernoulli, Euler, Lagrange, Taylor, Laplace, Navier, Poisson, Lamé, Clapeyron, Cauchy und Duhamel haben die Hülfsmittel der Analyse auf diesen Gegenstand angewandt. Die hauptsächlichsten Experimental-Untersuchungen über die Elastici-

1) Ueberreicht der Pariser Academie am 28. Juli 1842 und veröffentlicht in den *Ann. de chim. et de phys.*, *Ser. III T. XII* (1844) *p.* 385. — Eine frühere Notiz des Hrn. Verf. über denselben Gegenstand ist bereits in den Annalen Bd. LVII S. 382 mitgetheilt.

Digitized by Google

tät sind die von S'Gravesande, Coulomb, Beaufoy, Tredgold, Rennie, Leslie, Dufour, Chladni, Young, Savart, Weber, Duleau, Lagerhjelm, Ardant und der hannöverschen Commission. Diesen beiden Klassen von Arbeiten verdankt man es, daſs die Gesetze der Gestaltveränderungen, welche die elastischen Körper unter der Wirkung äuſserer Kräfte erleiden, so wie die Gesetze ihrer Schwingungen, als vollkommen bekannt angesehen werden können, so lange die Verschiebungen der Molecule in Bezug auf deren Abstände klein bleiben und die äuſseren Kräfte nur während einer sehr kurzen Zeit wirken.

Dem ist aber nicht mehr so, wenn die Elasticitätsgränze überschritten worden ist; man kennt weder die Gesetze der bleibenden Verschiebungen, noch deren Einfluſs auf die Elasticität. Nur in jüngster Zeit hat Herr Gerstner durch genaue Versuche mit Stahldrähten zu zeigen versucht, daſs ein der Ausdehnung unterworfener Draht sich in jedem neuen Stabilitätszustand wie in seinem ursprünglichen Zustand verhält; daſs nicht allein die Verlängerungen den angelegten Kräften proportional bleiben, so lange man nicht die Belastung bis zum Entstehen einer neuen permanenten Verlängerung erhöht, sondern daſs die proportionalen Verlängerungen, die durch gleiche Gewichte erzeugt werden, noch in den verschiedenen Gleichgewichtszuständen dieselben bleiben. Hienach muſs man denselben Elasticitätscoëfficienten bekommen, es mögen die Belastungen die Elasticitätsgränze überschreiten oder nicht.

Fast alle übrigen Beobachter haben sich begnügt, die gesammte, durch eine gewisse Belastung erzeugte Verlängerung zu messen, ohne den bleibenden Theil dieser Verschiebungen zu unterscheiden von dem Theil, der mit Fortnahme der Last verschwindet, und den wir ausschlieſslich elastische Verschiebung nennen werden. Man war daher genöthigt, die Elasticitätscoëfficienten nach den klei-

Digitized by Google

nen Verschiebungen zu berechnen, welche die Molecüle diesseits der Elasticitätsgränze erleiden können. Allein für einige Körper liegt diese Gränze so nahe, daſs es unmöglich war auf diese Weise eine hinlängliche Genauigkeit zu erreichen. Man nahm daher seine Hülfe zu sehr kleinen Verschiebungen, vor allen bei drehenden und längsgehenden Schwingungen.

Diese letzteren sind von sehr leichter Anwendung, seit Chladni gefunden, wie man die Schallgeschwindigkeit in starren Körpern experimentell bestimmen könne, und seit Laplace die Formel gegeben, welche die Schallgeschwindigkeit mit dem Elasticitätscoëfficienten verknüpft.

Allein diese Bestimmungsweise des Elasticitätscoëfficienten setzt eine vollkommene Einerleiheit zwischen der theoretischen und wirklichen Geschwindigkeit des Schalls voraus. Nun weiſs man, daſs diese Einerleiheit für die Gase nicht vorhanden ist, sondern durch die erzeugte Wärme eine ansehnliche Beschleunigung stattfindet; es bleibt also zu untersuchen, ob nicht Aehnliches bei den starren Körpern geschehe.

Das Studium der Zähigkeit, der Elasticitätsgränze und des Verlängerungsmaximum hängt natürlich mit diesem Gegenstande zusammen.

II. — Die einfachen Metalle, welche den Gegenstand dieser Abhandlung ausmachen, sind schon von vielen Beobachtern untersucht. Es würde zu weit führen, alle von ihnen gefundenen Zahlen und deren Mängel hier beizubringen. Man findet sie überdieſs vollständig angegeben in der *Mécanique industrielle* von Hrn. Poncelet.

Allein die meisten dieser Untersuchungen wurden zum praktischen Behufe unternommen. Man beschäftigte sich vorzüglich mit den als Baumaterial benutzten Metallen, ohne Rücksicht nehmen zu können auf deren Reinheit, auf die Dichtigkeit und die Abänderungen, die sie durch mechanische Behandlung oder durch Wirkung der Wärme erlitten hatten oder noch erleiden konnten. Der

Digitized by Google

Verschiedenheit dieser Umstände muſs man wahrscheinlich das Abweichende der Resultate und den Mangel eines jeden allgemeinen Gesetzes zuschreiben.

Die gröſste Schwierigkeit bei dieser Gattung von Untersuchungen liegt in der Nichthomogenität der Substanzen. In der That, um die Beziehungen der Elasticität zur Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Körpern zu bestimmen, müſste man sie in einem vergleichbaren Zustande haben, im Zustande vollkommener Homogenität, wie man ihn bei den Rechnungen voraussetzt, oder wenigstens in gleichem Grade von Homogenität; allein das läſst sich nicht ausführen. Man muſs also zunächst einen selben Körper unter möglichst verschiedenen Umständen versetzen, um, wenn chemische Natur und Homogenität des Körpers gleich bleiben, den Einfluſs dieser Umstände zu ermitteln; darauf kann man versuchen, die sonach gefundenen Gesetze auf verschiedenartige Körper anzuwenden, dabei bei diesem ersten Grad von Annäherung die Homogenitätsunterschiede vernachlässigend.

Ich habe mit chemisch reinen Metallen operirt; von denen, die ich mir nicht rein verschaffen konnte, werde ich die Zusammensetzung angeben, wie ich sie durch Analyse gefunden.

Die Dichtigkeit habe ich zunächst bei dem zu einem Stabe gegossenen Metalle bestimmt, wenn dieſs möglich war. Dann wurde das Metall stark gehämmert und zu Draht gezogen, endlich angelassen. In jedem dieser Zustände habe ich zuvörderst die Dichte bestimmt, dann den Elasticitätscoëfficienten und die Schallgeschwindigkeit nach drei Methoden, die Elasticitätsgränze, die bleibenden und elastischen Verlängerungen unter verschiedenen stets wachsenden Belastungen, und den Widerstand beim Reiſsen. Die nämlichen Bestimmungen wurden bei 100°, 200° und —15° C. wiederholt, bis soweit, daſs die Elasticitätscoëfficienten nur bloſs mittelst einer Methode bestimmt werden konnten und die Dichtigkeit nach ihrer bekannten Ausdehnbarkeit berechnet wurde.

Digitized by Google

Durch diese Untersuchungen habe ich nun folgende Punkte aufzuhellen gesucht:

1) Der Elasticitätscoëfficient und die Schallgeschwindigkeit, die Elasticitätsgränze und das Verlängerungsmaximum sind noch nicht für alle Metalle bestimmt worden.

Der Elasticitätscoëfficient des Eisens und des Stahls sind mit Sorgfalt studirt von Coulomb [1]), Tredgold [2]), Lagerhjelm [3]), Barlow [4]), Young [5]), Rennie [6]), Duleau [7]), Navier [8]), Gerstner [9]), Leslie [10]), Seguin [11]), Martin [12]), Ardant [13]), Savart [14]) und Weber [15]); der des Kupfers von Lagerhjelm, Savart und Weber; der des Zinks von Tredgold; der des Bleis von Rennie und Ardant; der des Silbers von Lagerhjelm und Weber, und der des Platins von Weber.

Was die Schallgeschwindigkeit betrifft, so ist sie be-

1) *Mémoires de l'Académie*, 1784, *p.* 266.

2) *Philosoph. Transact.* 1824, *P. II p.* 354.

3) Versuche über die Dichtigkeit, Gleichartigkeit, Elasticität, Schmiedbarkeit und Stärke des geschmiedeten und gewalzten Stabeisens; übersetzt (aus den *Jerncontoret's Annaler*, 1826) von W. Pfaff. Nürnberg 1829.

4) *Essai sur la force du fer, avec un appendice sur la force d'autres substances. Londres* 1817.

5) *Lectures on natural philosophy, Th. II p.* 403.

6) *Philosoph. Transact.*, 1828, *P. I.*

7) *Essai théorique et experimental sur la résistance du fer forgé. Paris* 1820.

8) *Mémoire sur les ponts suspendus, Paris* 1830, *p.* 263.

9) Handbuch der Mechanik, Th. I. — Burg, Jahrbuch des polytechn. Instituts in Wien, Bd. XIX S. 26.

10) *Elements of natural philosophy, Edinb.* 1823, *T. I p.* 214.

11) *Des ponts en fil de fer,* 1826.

12) *Du fer dans les ponts suspendus.*

13) Poncelet, *Mécanique industrielle, p.* 345.

14) *Ann. de chim. et de phys., Ser. II T. LXV p.* 394.

15) Poggendorff's Annalen, Bd. XX S. 204.

[Hieher gehört auch noch Brix, Abhandlung über die Cohäsions- und Elasticitäts-Verhältnisse einiger nach ihren Dimensionen beim Bau der Hängebrücken in Anwendung kommenden Eisendrähte des In- und Auslandes, Berlin 1837 (P.)].

Digitized by Google

stimmt worden von Chladni beim Eisen, Kupfer, Silber und Zinn, von Savart beim Eisen, Stahl und Kupfer, und von Masson beim Blei und Zink [1]).

Es blieb also noch diese Untersuchungen zu vervollständigen, sie bei reinen Metallen anzustellen, und die direct gefundenen Schallgeschwindigkeiten mit den aus den Elasticitätscoëfficienten abzuleitenden zu vergleichen.

2) Coulomb und Lagerhjelm haben gefunden, daſs Eisen und Stahl, gehärtet oder nicht, einen gleichen Elasticitätscoëfficienten haben. Herr Poncelet dagegen, nachdem er in seinem *Mécanique industrielle* (p. 354) alle bekannten Angaben zusammengestellt, erhebt Zweifel an der Constanz dieses Coëfficienten. Da dergleichen Versuche noch nicht bei den übrigen Metallen angestellt worden sind, so blieb zu untersuchen, ob der Elasticitätscoëfficient in der That constant und von der mechanischen Behandlung und der Dichtigkeit unabhängig sey, oder ob nur beim Eisen der Unterschied zu klein sey, um durch die gewöhnlichen Beobachtungsmittel wahrgenommen werden zu können.

3) Wenn die Elasticität sich mit der Dichtigkeit und chemischen Natur des Körpers ändert, so wird man eine Beziehung zwischen diesen Gröſsen aufsuchen können.

4) Weder über das Dasein, noch die Gröſse der Elasticitätsgränze stimmen die Verfasser überein. Für das Eisen hat Hr. Lagerhjelm folgendes Gesetz aufgestellt: Bezeichnet i die der Elasticitätsgränze entsprechende proportionale Verlängerung, und I das proportionale Verlängerungsmaximum, so hat man $i\sqrt{I} = const.$ Die bekannten Versuche reichen nicht hin zu entscheiden, ob dieſs Gesetz auf andere Metalle anwendbar sey.

5) Die Wärme hat eine doppelte Wirkung auf die Körper, die einer mechanischen Behandlung unterworfen wurden. Die eine ist bleibend, das Anlassen, die andere verschwindet mit der Temperatur. Die Wirkung des An-

1) *Ann. de chim. et de phys., Ser. III T. III p.* 451.

lassens auf die Elasticität der Eisen- und Stahldräthe ist von mehreren schon genannten Beobachtern studirt worden. Die HH. Dufour, Baudrimont[1]) und Karmarsch[2]) haben gezeigt, welche Verringerung die Haltbarkeit der Metalle durch das Anlassen erleidet.

Lagerhjelm, Tredgold, Trémery, Poirier[3]) und Dufour untersuchten die Cohäsion des Eisens, Minard und Desormes die des Kupfers, Zinns und Bleis bei höherer Temperatur.

Was die Elasticität der Metalle bei hoher und niedriger Temperatur betrifft, so ist sie meines Wissens noch nicht studirt worden.

Bestimmung des Elasticitätscoëfficienten und der Schallgeschwindigkeit.

III. — Man bestimmt gewöhnlich den Elasticitätscoëfficienten mittelst der Verlängerungen, welche die Metalle unter Wirkung relativ kleiner Belastungen erfahren, und die Schallgeschwindigkeit mittelst longitudinaler Schwingungen. Vernachlässigen wir zunächst die etwanige Wärmeentwicklung und die im Innern selbst nicht krystallisirter Metalle vorhandenen Elasticitätsunterschiede, so wird man sich nicht nur jeder dieser zwei Methoden zur Bestimmung der beiden Gröſsen bedienen können, sondern es wird auch jede Gestaltveränderung unter bekannten äuſseren Kräften und jede Schwingungsbewegung zu demselben Zweck dienlich seyn, denn der Elasticitätscoëfficient tritt immer ein in deren analytischem Ausdruck. Ich habe mich daher einer dritten Methode bedienen können: der Bestimmung des Elasticitätscoëfficienten mittelst transversaler Schwingungen. Da diese genauer und zugleich allgemeiner anwendbar ist, als die

1) *Ann. de chim. et de phys., Ser. II T. LX.*

2) Jahrbücher des Polytechn. Instituts in Wien, Bd. XVIII.

3) *Ann. de Mines, Ser. II T. III.*

Digitized by Google

beiden andern, so will ich mit ihrer Auseinandersetzung beginnen.

Transversale Schwingungen.

IV. — Um die Anzahl der transversalen Schwingungen zu bestimmen, die ein an einem Ende eingefugter Stab von bekannter Länge und Dicke in einer Secunde macht, benutzte ich Hrn. Duhamel's Methode, die darin besteht, daſs man die Schwingungen sich auf Glasplatten, die mit einer Schicht Kienruſs überzogen sind, abbilden läſst.

Die Glasscheibe, welche zur Aufnahme der Zeichnungen bestimmt war, wurde durch eine Art Bratenwender mit Gewichten, einen ähnlichen Apparat, wie sich Hr. Morin bei seinen Untersuchungen bediente, in Bewegung gesetzt; ungeachtet der Anwendung eines Windfangs wurde die Bewegung dieser Maschine, selbst nach mehren Umläufen, nicht gleichförmig genug, um genau die Dauer einer Schwingung dadurch zu bestimmen, daſs man mittelst eines Winkelmessers (*rapporteur*) die Zahl der von ihr auf der Scheibe eingenommenen Grade maſs. Die Unterschiede steigen, bei Rotationsgeschwindigkeiten von 1—5 Secunden, auf Zehntelsecunden, je nach der Stellung der Flügel des Windfangs. Ueberdieſs schwankten die Geschwindigkeiten, je nachdem die zeichnende Spitze mehr oder weniger stark gegen die Scheibe drückte.

Um mich dieser Uebelstände zu entheben, nahm ich meine Hülfe zu einem ähnlichen Verfahren, wie das, welches zuerst Hr. Duhamel in seiner 1840 in der Academie gelesenen Abhandlung über die Schwingungen der mit Läufern beschwerten Saiten angewandt hat. In dieser Abhandlung bestimmt Hr. Duhamel die relativen Schwingungsmengen der mit verschiedenen Läufern beschwerten Saiten durch Vergleich derselben mit den Schwingungen einer anderen Saite, die immer gleiche Bewegung behält und somit als Zähler dient. Bei meinen

Digitized by Google

Versuchen handelte es sich um die Bestimmung absoluter Schwingungsmengen; ich muſste demnach einen Zähler anwenden, der eine genau bekannte Zahl von Schwingungen in einer Secunde machte. Zu dem Ende habe ich mich einer von Hrn. Marloye sehr sorgfältig ausgeführten Normal-Stimmgabel bedient; dieselbe, nach der Sirene abgestimmt, macht genau 256 Doppelschwingungen in der Secunde. Zwei Häkchen von sehr dünnem Messing mit umgebogener Spitze sind mittelst sehr kleiner Schrauben befestigt an den gegenüberstehenden Seiten der beiden Zinken dieser Stimmgabel, die der Ebene ihrer Schwingungen parallel sind; das Gewicht dieser Häkchen ist in Bezug auf die Masse der Stimmgabel so klein, daſs sie deren Ton nur etwa um eine Schwingung in der Secunde erniedrigten. Es war daher leicht, sie mit einer zweiten nicht durch Häkchen beschwerten Stimmgabel in Einklang zu bringen, indem man von dem Ende jeder Zinke etwas abnahm. Nachdem ich diese Stimmgabel eine Zeit lang gebraucht hatte, prüfte ich sie wieder, ohne die mindeste Veränderung zu finden.

Ein ähnlicher *S*förmig gekrümmter Haken wurde mittelst einer Schraube an dem Ende des Stabes befestigt, mit dem ich operirte.

Es handelte sich nun darum, den Stab und die Stimmgabel gleichzeitig schwingen zu lassen, ihre Haken mit einem selben Radius der rotirenden Scheibe sehr sanft in Berührung zu bringen, und diese Berührung, sobald die Scheibe einen ganzen Umlauf gemacht hat, aufheben zu können, damit die schon gemachten Zeichnungen nicht verwischt werden. Der folgende Apparat, Taf. I Fig. 1 und 2, genügt diesen Bedingungen.

Das ganze System ruht auf einem eichenen Tisch *A*, auf welchem zwei Holzleisten *B* befestigt sind; zwischen diesen Leisten bewegt sich die Holzscheibe *C*, welche die Maschine trägt.

Auf der Scheibe ist ein starkes eisernes Gestell *D*

Digitized by Google

befestigt; dasselbe trägt die Axe der Winde *E*, um welche die Schnur gewickelt ist, die mittelst der Rolle *G* das Gewicht *F* trägt. Der Bügel der Rolle hängt nur an einem Haken, so daſs die Rolle sich etwas drehen und der Scheibe in ihrer Bewegung folgen kann, ohne den Lauf der Schnur zu stören. Die Winde trägt ein Rad *H* von 15 Centm. Durchmesser, welches in das Getriebe *I* greift; an diesem sitzt vorn eine groſse Messingscheibe *J* von 32 Centm. Durchmesser, die mittelst einer Klemmschraube befestigt ist, und hinten ein Rad, das mittelst einer Schraube ohne Ende den Windfang *K* bewegt.

Die graduirten Plättchen *L* dienen dazu, die Windflügel unter verlangte Neigung zu stellen und somit die Rotationsgeschwindigkeit nach Belieben zu regeln. Vier Ansätze *M*, geschraubt an die Messingscheibe und gegen den geneigten Rand der Glasscheibe drückend, pressen beide gegen einander und halten somit letztere fest. Mittelst des Fuſsbretts *N*, welches die Welle *O* in Drehung versetzt, kann man das ganze System verrücken. Eine starke Darmsaite, die sich um die Welle schlingt, ist an der Holzscheibe befestigt und läſst sie zwischen den Leisten verrücken. Ein Gegengewicht *P* zieht den Apparat zurück, so wie man das Fuſsbrett nicht mehr niederdrückt. Zwei starke Schrauben *Q* dienen als Hemmpunkte des Vorrückens.

Zur Seite der Leisten befindet sich ein starker Holzständer *R*, der mittelst eines darin steckenden Bolzens und einer Mutter auf dem Tisch wohl befestigt ist. An diesen Ständer ist die Stimmgabel *S* geschraubt; zugleich trägt er einen Eisenstab, versehen oberhalb mit einem Stift *T*, um den sich ein runder, gleichfalls eiserner Arm *U* dreht, der durch einen gegliederten Winkelhebel *V* mit dem Fuſsbrett in Verbindung steht. Wenn man nun letzteres niedertritt, dreht sich das Eisen um seinen Stift *T*, geht rasch zwischen den Armen der Stimmgabel heraus und setzt sie in Schwingung.

Digitized by Google

Soll der Apparat in Thätigkeit treten, so wird der zu untersuchende Stab *a* in seiner Mitte in einen starken Schraubstock *b* gezwängt. Ich habe mich überzeugt, daſs bei also befestigten Stäben die Schwingungen derselben unabhängig sind von der Kraft, mit welcher der Schraubstock klemmt, was nicht der Fall ist, wenn man den Stab an einem Ende einzwängt. Dicke Stäbe wurden bloſs in der Mitte durch einen mit Tuch ausgelegten Stahlring gehalten. Bei Drähten hat man keine Haken nöthig, da ihr umgebogenes Ende unmittelbar auf die Scheibe zeichnen kann. Man nimmt nun die Glasscheibe fort, überzieht sie mit Kienruſs, zieht darin mit einer feinen Spitze einen Radius, und setzt sie wieder ein.

Man richtet es so ein, daſs der Haken *c* des Stabes und der *d* der Stimmgabel auf den gezeichneten Radius in verschiedene Abstände vom Mittelpunkt kommen; man regelt die Hemmschraube so, daſs die beiden Haken nur sehr sanft gegen die Scheibe drücken, wenn der Apparat sich vorwärts bewegt.

Nach dieser Vorrichtung zieht man den Haken *e*, der bis dahin das Gewicht gehalten, fort, versetzt den Stab in transversale Schwingungen und tritt das Fuſsbrett nieder. Wenn die Scheibe beinahe einen Umgang gemacht hat, hebt man den Fuſs vom Brette ab und der Apparat weicht zurück.

Die Kienruſsschicht empfängt hierdurch zwei concentrische Linien, deren eine, dem Mittelpunkt nähere *f* (Tafel I Figur 3), die Zeichnung der Schwingungen der Stimmgabel enthält, die andere *g* die Zeichnung von den Schwingungen des Stabes oder Drahtes.

Alsdann nimmt man die Scheibe ab, zieht zwei Radien *hh*, von deren Mittelpunkt zu den Scheiteln zweier Schwingungen des Stabes, und zählt die Menge der Schwingungen der Stimmgabel, die zwischen diesen Radien enthalten sind.

Ist die Geschwindigkeit der Schwingungen des Sta-

Digitized by Google

bes nicht sehr groſs gegen die der Scheibe, so sind die Scheitel der gezeichneten Schwingungen abgerundet, und man hat einige Schwierigkeit zu bestimmen, bei welchem Punkt eine neue Schwingung anfängt. Um den aus dieser Unsicherheit entspringenden Fehler zu verringern, habe ich die beiden Radien möglichst aus einander gebracht, so daſs der Fehler, den man begehen kann, sich auf 15 — 50 Schwingungen vertheilt; er kann dann nicht über 0,1 Stimmgabel-Schwingung auf eine Stab-Schwingung betragen.

Unter einem zusammengesetzten Mikroskop *a* Fig. 4 Taf. I, versehen mit zwei beweglichen Kreuzfäden, zählt man die Schwingungen leicht. Man legt die Glasscheibe auf ein Tischchen *b*, das um einen Zapfen drehbar ist, und auf einem Fuſs nach Belieben gehoben und gesenkt werden kann, um die Zeichnung in den Brennpunkt des Mikroskops zu bringen. Bei langsamem Drehen dieses Tischchens kann man die Schwingungen mit gröſster Sicherheit zählen.

Da die Zeichnung jeder Stimmgabel-Schwingung durch ihren Scheitel in zwei Theile getheilt, und jede Hälfte noch groſs genug ist, um die Fünftel schätzen zu können, so läſst sich die Zeit bis auf $\frac{1}{2560}$ Secunde bestimmen.

Ist nun a die gesammte Anzahl der Stimmgabel-Schwingungen, a' die der isochronen Stab-Schwingungen, und n die Zahl der Stab-Schwingungen in der Secunde, so hat man $n = 256 \frac{a'}{a}$, woraus man leicht mittelst bekannter Formeln den Elasticitätscoëfficienten und die Schallgeschwindigkeit ableitet.

Wenn die Schwingungen etwas stark sind, kann man sie sogar sich auf Papier zeichnen lassen; zu dem Ende befestigt man ein Blatt Papier auf der Messingscheibe und darüber ein anderes, mit Reiſsblei überzogen, und man läſst gegen die Rückseite des letztern die zuvor abgestumpften Haken drücken.

Digitized by Google

Nach jedem Versuch muſs man der Stimmgabel Zeit zum Erkalten lassen, bevor man einen neuen anfängt.

Diese Methode hat den Vorzug auf alle Körper anwendbar zu seyn, auf tönende oder nicht, steife oder weiche. Ein Draht oder kleiner Streifen von 50 Millm. reicht dazu hin, während man bei den beiden andern Methoden einen Stab von 1 Meter Länge nöthig hat. Man wird überdieſs sehen, daſs sie genauer ist als die der Longitudinal-Schwingungen; sie giebt Unterschiede, die man nicht durch diese auffinden kann, z. B. den Unterschied zwischen Eisen und Stahl, angelassen oder nicht. Wahrscheinlich wird man mittelst ihrer auch die Elasticitätsunterschiede, die bei Krystallen in verschiedenen Richtungen stattfinden, numerisch bestimmen können.

Longitudinale Schwingungen.

V. — Die Zahl der Längsschwingungen wurde auf gewöhnliche Weise gefunden, mittelst der tiefsten Töne, die Stäbe geben, wenn man sie, gehalten in der Mitte, an einem Ende reibt. Drähte wurden an beiden Enden in starke Schraubstöcke eingeklemmt und in der Mitte gerieben.

Die diesem Ton entsprechende Schwingungsanzahl wurde unmittelbar gefunden, indem man denselben genau von einem Differential-Sonometer angeben lieſs, das nach der schon erwähnten Stimmgabel abgestimmt war. Um mich zu versichern, welchen Grad von Genauigkeit man solchergestalt erreichen könne, zählte ich die von zwei Stäben gezeichneten Längsschwingungen. Jeder war 2 Meter lang, aber der eine von Messing und der andere von Guſsstahl, um die so erhaltenen Zahlen mit den mittelst des Sonometers bestimmten vergleichen zu können. Man kann die auf der Drehscheibe gezeichneten Längsschwingungen nicht geradezu zählen, weil sie immer, mit welcher Vorsicht man sie auch errege, von Querschwingungen begleitet sind; man findet dann für eine selbe Zahl

Digitized by Google

von Stimmgabel-Schwingungen eine gröſsere Zahl von Längsschwingungen, wenn man sie an einer Stelle zählt, wo der Stab sich transversal, entgegengesetzt dem Sinn der Rotation der Scheibe, bewegt, und eine kleinere Zahl, wo er in gleichem Sinn vibrirt. Allein gerade diese Coëxistenz von longitudinalen und transversalen Schwingungen liefert ein Mittel diesem Uebelstande abzuhelfen, man braucht nur anfangs die Zahl der Querschwingungen in der Secunde zu bestimmen, und dann die Zahl der Längsschwingungen, die während einer Querschwingung vollführt werden (Fig. 5 Taf. I); ihr Product giebt die Zahl der Längsschwingungen pro Secunde. Die erste dieser Zahlen findet man wie gewöhnlich mittelst der Drehscheibe. Was die zweite betrifft, so läſst man beide Arten von Schwingungen sich auf einen kleinen Papierstreifen zeichnen, den man, unter 45° gegen die Axe des Stabes geneigt, mit der Hand hält und sehr sanft gegen den Haken des Stabes drückt. Ist dieſs geschehen, so zeichnen sich die Längsschwingungen überall deutlich ab, selbst auf den Scheiteln der Querschwingungen.

Sonach habe ich gefunden:

beim	Spec. Gew.	Radius der Stäbe	Anzahl d. Querschwing.	Anzahl d. Längsschwing. auf jede Querschwing.	Producte dieser 2 Zahlen	Anzahl d. Längsschwing. nach dem Sonometer
Guſsstahl . .	7,841	5,060	7,204	175,4	1263,6	1267,0
Messing . .	8,452	5,029	4,867	179,0	871,2	864,5

Es sey n die Anzahl der Querschwingungen eines Stabes von der Länge l und dem Radius ε; n' die Anzahl der Längsschwingungen eines an beiden Enden freien Stabes, von der Länge l', demselben Radius ε und derselben Substanz. Dann muſs

$$\frac{n\,l^2}{n'\,l'\,\varepsilon} = 0{,}55958.$$

Digitized by Google

Wirklich findet man

beim Guſsstahl . . . 0,56184

- Messing . . . . 0,55974.

Freilich werden die Fehler etwas gröſser, wenn man mit Stäben von nur 1 Meter Länge operirt, weil es schwer hält sehr hohe Töne von anderm Klange auf dem Sonometer wieder zu geben, und weil bei diesen selben Tönen die Schwingungsanzahl nicht mehr genau der Länge der Saite umgekehrt proportional ist. Diesem Uebelstand hilft man ab, wenn man die Töne immer an ihren tiefen Octaven prüft.

Diese Methode ist im Allgemeinen weniger scharf, aber fördert viel rascher als die erstere.

Verlängerung.

VI. — Ich habe nur noch den Apparat zu beschreiben, dessen ich mich bedient, um den Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung zu finden und die Modificationen zu studiren, welche Drähte und Stäbe unter der Wirkung stufenweise bis zu ihrem Zerreiſsen verstärkter Belastungen erleiden.

Ein eichener Balken *A*, Fig. 6 Taf. I, von 13 Millm. im Quadrat und $1^{m},7$ Meter Höhe ist durch Eingypsung wohl an einer Mauer befestigt; er trägt oben einen starken Riegel von Stahl, der hinten gleichfalls in die Mauer eingegypst ist und vorn in einer Art von Schraubstock endet, bestehend aus zwei Theilen, von denen jeder drei Rillen enthält. Zusammengefügt bilden diese Rillen drei Kanäle, welche etwas weniger als 3, 5 und 10 Millimeter im Durchmesser hatten, und Stäbe von diesen drei Durchmessern, mit denen ich operirte, vollständig umfassen. Diese beiden Theile schraubt man mittelst starker Schrauben *C* an einander. Die so gehaltenen Stäbe *T* können sehr bedeutende Gewichte tragen ohne zu gleiten.

Wenn diese Gewichte über 300 Kilogrm. hinausgehen, ist es gut den Stab oben ein wenig abzuplatten.

Digitized by Google

Um die Stäbe von verschiedenem Durchmesser unten einzuzwängen, muſste man drei besondere Schraubstöcke anwenden; diese Schraubstöcke werden mittelst derselben Schrauben angezogen, und man hängt daran mittelst eines Hakens *F* den Kasten *E* mit Gewichten. Dieser sehr starke Kasten trägt an der Hinterwand einen Stift, der sich ohne Reibung in der einen oder andern von drei eisernen, am Balken befestigten Nuthen *G* bewegt, je nachdem der Stab in dem einen oder andern Kanal festgezwängt ist. Die Mitten derselben haben gleiche Abstände wie die Axen der Kanäle, so daſs der Schwerpunkt des Kastens immer genau unterhalb des entsprechenden Kanals bleibt. Durch diese Vorrichtung ist jedes Schaukeln des Kastens verhütet. Der Gewichtskasten, von eisernen Reifen eingefaſst, hängt am Haken mittelst einer Kette *I*, die man, je nach der Länge des Stabes, verlängert oder verkürzt. Er hat starke Schrauben, die auf Eisenplättchen stehen. Dreht man diese Schrauben zurück, so wird der Kasten vom Stab getragen; dreht man sie vor, so hebt sich der Kasten und der Stab ist von allem Gewicht entlastet.

Das Gewicht des Kastens, das 34,5 Kilogrm. beträgt, ist immer bei den erwähnten Versuchen eingerechnet; kleinere Gewichte hängt man unmittelbar an den Haken.

Diese Einrichtung verstattet, die Stäbe sowohl ohne den mindesten Stoſs mit groſsen Gewichten zu belasten, als auch mit Leichtigkeit wieder zu entlasten; sie verhindert auch, daſs die Last während der Verlängerung des Stabes eine merkliche Beschleunigung erlange, denn, so wie dieses geschieht, stoſsen die Schrauben auf ihre Plättchen. Durch Vermeidung dieser doppelten Fehlerquelle sind die Verlängerungsmaxima und die Zerreiſsungswiderstände bei meinen Versuchen etwas gröſser geworden, als sie bei den gewöhnlichen sind.

Drähte werden oben an einen Haken gehängt und un-

Digitized by Google

unten mit einer Waagschale zur Aufnahme der Gewichte versehen.

Der nämliche Apparat dient zum Beobachten in höherer Temperatur; nur ist dann der Stab auf drei Seiten von einer doppelten Hülle umgeben, die als Ofen und Sandbad dient. Ich versuchte mehrmals flüssige Bäder anzuwenden, in welche die Stäbe unmittelbar eintauchten; allein ich konnte keinen Kitt finden, der in höherer Temperatur am Glase dicht gehalten hätte, was nöthig war, um die Vorderwand zu schlieſsen. Ich begnügte mich demnach mit der folgenden Vorrichtung, die, was Gleichförmigkeit der Temperatur betrifft, bequemer, wiewohl weniger genau ist.

Der Apparat Fig. 7, 8 und 9 Taf. I besteht aus drei vereinten Hüllen; die beiden innern sind von Kupfer, die äuſsere von Weiſsblech. Der Sand *A* ist zwischen den beiden kupfernen Hüllen enthalten, die auf drei Seiten den kleinen von dem Stabe eingenommenen Raum umgeben; die Vorderseite bleibt offen, damit man die Verlängerung messen könne. Die dritte Hülle endlich bildet mit der zweiten auf den drei verschlossenen Seiten einen Ofen *B* von 7 Centm. Breite. Diesen Raum verschlieſst unten eine starke Eisenplatte; bei 1 Decimeter oberhalb dieses Bodens ist ein Rost *C*, mittelst dessen und kleiner Thüren *D* in den Seitenwänden der Ofen einen hinreichenden Luftzug hat. Der Raum zwischen Rost und Boden dient als Aschenherd. Zwei Thermometer *E* mit cylindrischen Behältern sind mitten im Apparat in verschiedenen Höhen angebracht.

Der oben im Schraubstock befestigte Stab *T* geht unten durch ein Loch im Boden und wird auf gewöhnliche Weise belastet. Der Ofen hängt am Stahlarm mittelst der Ketten *F*; ein Schornstein *G*, oben auf dem Balken befestigt, dient zur Fortführung des Rauchs. Der ganze Apparat ist 80 Cent. hoch; man regelt das Feuer mittelst eines Deckels *H*, durch den man von oben den

mit Kohlen gefüllten Raum schlieſsen kann, und mittelst zweier Thüren *D*. Wann die beiden Thermometer beinahe die Temperatur anzeigen, bei der man arbeiten will (100—200° bei meinen Versuchen), so verschlieſst man die Züge; das Sandbad behält die Temperatur länger als eine Stunde, und, wann die Temperatur zu sinken beginnt, braucht man sie nur zu öffnen, um das Feuer wieder anzuschüren. Deſsungeachtet läſst sich nicht, was zu meinen Versuchen erforderlich ist, die Temperatur Stunden lang vollkommen unverändert halten, noch verhüten, daſs dieselbe oben etwas höher als unten sey. Die Ergebnisse dieser Versuche sind demnach nicht strenge richtig.

Endlich habe ich den Einfluſs niedriger Temperaturen auf die Elasticität studirt. Dieser Einfluſs war nicht bekannt. Aus gemeiner Erfahrung schien nur hervorzugehen, daſs das Eisen durch Wirkung der Kälte spröder werde. Man hat in nördlichen Ländern bemerkt, daſs die Wagenaxen im Winter häufiger brechen als im Sommer; die Seeleute behaupten, daſs die Ankerketten leichter reiſsen, wenn sie einige Zeit im Eise gelegen haben u. s. w., allein es fehlen uns noch genaue Beobachtungen; es sind übrigens nicht die Modificationen der Cohäsion, welche zu kennen uns vor allem Noth thut, sondern die des Elasticitätscoëfficienten.

Ich habe Versuche im Winter gemacht, mittelst des Apparats Fig. 10 Taf. I. Ein Glascylinder *A* von 73 Cent. Höhe und 8 Cent. Durchmesser ist an einer Seite eingekittet in eine Fuge in einem Brett *B*; letzteres ruht auf einem starken eisernen Gestell *C*, welches an den Balken geschraubt ist. Somit befindet sich der Glascylinder senkrecht zwischen dem oberen Schraubstock und dem Gewichtskasten. Seiner ganzen Länge nach geht eine enge, oben und unten offene Hülse *D* von Weiſsblech hindurch und auch durch das Brett; der dem Versuch unterworfene Draht hängt in dieser Hülse, während der Raum zwischen dieser und dem Cylinder mit Eis gefüllt ist.

Digitized by Google

Zu diesem Behufe bediente ich mich eines Gemenges von zwei Theilen Eis und einem Theile Schwefelsäure, verdünnt zuvor mit der Hälfte Wasser. Die Säure ward erstlich für sich bis -3° oder -4° erkältet, und dann in dem Cylinder mit dem gröblich zerstoſsenen Eise gemengt; man erhielt hiedurch Temperaturen von -15° bis -20°, welche eine Stunde lang fast constant blieben. Uebrigens traf man die Sorgfalt, das Gemenge häufig umzurühren und allemal Eis und Säure hinzuzuthun, sobald die Temperatur zu steigen begann. Mitten im Gemenge war ein Thermometer *F* angebracht; man beobachtete es durch das Glas hin, indem man die Eiskruste, die bald den Cylinder bekleidete, von Zeit zu Zeit abnahm.

Bei dieser Einrichtung nimmt der in der Hülse befindliche Theil des Drahts nahezu die Temperatur des Gemenges an; man wird übrigens sehen, daſs sich der Elasticitätscoëfficient nur langsam mit der Temperatur verändert. Die Resultate würden also dieselben bleiben, selbst wenn zwischen der Temperatur des Gemenges und der des Drahts ein kleiner Unterschied vorhanden wäre.

Uebrigens ist die Handhabungsweise dieselbe bei den verschiedenen Temperaturen. Man zieht zunächst auf vorher gerade gemachten Stab zwei zarte Striche, etwa 80 Centm. auseinander. Die Geradmachung ist niemals vollkommen; immer beobachtet man bei den ersten Belastungen kleine bleibende Verlängerungen, die aus der dann erfolgenden Geradwerdung entstehen. Man belastet also die Drähte mit einem zur Geradmachung nöthigen Gewicht, und diese Last bildet den Ausgangspunkt für die übrigen Vergleiche. Ist sonach die ursprüngliche Länge bestimmt, so fügt man relativ kleine Belastungen hinzu; wenn nach 5 bis 10 Minuten das Gleichgewicht eingetreten ist mifst man den Abstand der beiden Merkpunkte abermals; hierauf hebt man die Last mittelst der Schraube und miſst wiederum die bleibende Länge. So fährt man

Digitized by Google

fort, bis der Stab merkliche bleibende Verlängerungen erfährt; dann aber werden die Messungen schwieriger, denn die elastischen Körper scheinen nicht mehr ein wahrhaft stabiles Gleichgewicht zu erreichen, und die letzten Längen, welche die Stäbe unter der Wirkung dieser Belastungen erreichen können, lassen sich nicht mehr bestimmen; selbst nach einer achttägigen steten Wirkung des Gewichts hatte ein Kadmiumdraht noch nicht aufgehört sich zu verlängern. Dennoch, wenn man das Gewicht zu irgend einem Zeitpunkt fortnimmt, verkürzt sich der Stab nur um einer seiner jedesmaligen Länge entsprechende Gröſse, d. h. man findet denselben Elasticitätscoëfficienten, welchen man gefunden hatte, bevor der Stab merkliche bleibende Verlängerungen erlitt; dieſs geht aus allen weiterhin folgenden Versuchen hervor. Man kann also eine neue Messung vornehmen, sobald die Verlängerung so langsam geworden ist, daſs die Länge sich während der zur Messung nöthigen Zeit nicht mehr merklich ändert [1]). Man entfernt alsdann das Gewicht und bestimmt die bleibende Länge wie zuvor. Ich habe sie so bis zum Abreiſsen verfolgt.

Das Gewicht, welches in Bezug auf das Quadratmillimeter die Zerreiſsung bewirkt, wurde auf zweierlei Art bestimmt, zuvörderst indem man den Stab sich unter der Wirkung des Gewichts langsam ausziehen lieſs, und dann indem man die Last rasch bis zur Zerreiſsung vergröſserte.

Alle Messungen geschahen mittelst eines Kathetometers mit mikroskopischem Fernrohr, das Hundertel eines Millimeters angab. Es stand senkrecht auf einem würfelförmigen Stein von 30 Centm. Seite und war durch einen hölzernen Schirm gegen den Einfluſs der Wärme geschützt.

Nach dem Zerreiſsen wurde die Dichtigkeit des ei-

1) Stäbe von Zinn, Kadmium und ausgezogenem Zink erreichen kein merkliches Gleichgewicht mehr, wenn sie ihre Elasticitätsgränze überschritten haben; deſshalb konnte der Elasticitätscoëfficient dieser Metalle nicht durch Verlängerung bestimmt werden.

Digitized by Google

nen Stückes abermals genommen und dessen Elasticität mittelst transversaler Schwingungen bestimmt.

Die Durchmesser der Stäbe und Drähte ermittelte ich nach der Methode der Wägungen. Die specifischen Gewichte der Drähte wurden in Stöpselflaschen bestimmt, die der Drähte mittelst der hydrostatischen Waage.

VII. — Um die drei Methoden zur Bestimmung des Elasticitätscoëfficienten mit einander zu vergleichen, unterwarf ich die beiden Stäbe, deren Längs- und Querschwingungenmenge schon erwähnt wurden, der Verlängerung. Jede der folgenden Zahlen ist das Mittel aus zwei Messungen.

	Belastung auf das Quadratmillimeter, Kilogramme				
	0	3	4	5	6
Guſsstahl	830,445	830,560	830,620	830,645	830,720
Messing	798,295	798,565	798,630	798,715	798,790

Durch die drei Methoden ergaben sich also die Coëfficienten folgendermaſsen: [1])

	durch Längsschwingungen gezählt	durch Längsschwingungen berechnet	durch Querschwingungen	durch Verlängerung
Guſsstahl	20421	20532	20698	19881
Messing	10464	10303	10348	9395

und für die Schallgeschwindigkeit die Zahlen:

	durch Längsschwingungen gezählt	durch Längsschwingungen berechnet	durch Querschwingungen	durch Verlängerung
Guſsstahl	15,213	15,254	15,315	15,047
Messing	10,489	10,408	10,430	9,938

Man sieht also, daſs bei homogenen Metallen die Resultate aus den Längs- und Querschwingungen voll-

1) Der Elasticitätscoëfficient ist das Gewicht in Kilogrammen, welches die Länge eines Stabs von 1 Quadrat-Millimeter Querschnitt verdoppeln würde, wenn eine solche Verlängerung physisch möglich wäre.

Digitized by Google

kommen übereinstimmen, während die Verlängerung sowohl für den Elasticitätscoëfficienten wie für die Schallgeschwindigkeit kleinere Zahlen giebt. Ich werde auf diesen letzteren Punkt zurückkommen.

Bei nicht-homogenen Metallen findet keine solche Uebereinstimmung statt. Dieſs erhellt aus den Resultaten der Versuche mit Wismuth und Antimon.

	Elasticitätscoëfficient aus		Schallgeschwindigkeit aus	
	Längs- schwingungen	Quer- schwingungen	Längs- schwingungen	Quer- schwingungen
Wismuth	3290	2473	5,455	4,731
Antimon	4817	3144	8,028	6,486

Man kann sich also des Verhältnisses zwischen den Längs- und Querschwingungen bedienen, um die Homogenität einer Substanz zu beurtheilen.

VIII. — Ich schreite nun zur Auseinandersetzung der mit den einzelnen Metallen angestellten Versuche. Alle Dimensionen sind in Millimetern, alle Gewichte in Kilogrammen ausgedrückt; die Buchstaben haben folgende Bedeutung:

d, Dichte; d', Dichte nach dem Zerreiſsen;

ε, Radius des Stabes oder Drahtes;

l, Länge des Stabes oder Drahtes, der an einem Ende eingezwängt ist und transversal schwingt;

N, Anzahl der Schwingungen der Stimmgabel, während der eingezwängte Stab oder Draht von der Länge l eine Schwingung macht;

n, Anzahl der transversalen Doppelschwingungen, welche der Stab oder Draht von der Länge l und dem Halbmesser ε in der Secunde macht;

l', Länge des freien Stabes oder des an beiden Enden eingezwängten Drahts;

s, Abstand, in welchen man den Steg bringen muſs, damit die transversal schwingende Saite des Sonometers

Digitized by Google

denselben Ton gebe, wie der longitudinal schwingende Stab oder Draht;

n' Anzahl der longitudinalen Doppelschwingungen, die der freie Stab oder der an beiden Enden befestigte Draht bei der Länge l' in der Secunde macht;

p, Gewicht des Stabes oder Drahtes von der Länge l;

p', Gewicht des Stabes oder Drahtes von der Länge l';

P, Belastung auf das Quadratmillimeter;

P_l, Belastung entsprechend der Elasticitätsgränze. Als solche haben wir diejenige Belastung genommen, die eine proportionale bleibende Verlängerung von 0,00005 bewirkt;

L, Abstand der Merkpunkte, wenn der Stab unbelastet, oder der Draht nur mit dem zu seiner Geradmachung erforderlichen Gewicht belastet ist;

L', Abstand der Merkpunkte unter Wirkung der Last P;

a, elastische Verlängerung auf das Meter, ausgedrückt in Millimeter;

a' bleibende Verlängerung auf das Meter in Millimeter;

A, bleibende Verlängerung, Maximum auf das Meter in Millimeter;

t, Belastung auf das Quadratmillimeter, die Zerreiſsen bewirkt;

q, Elasticitätscoëfficient;

v, Schallgeschwindigkeit in der zu untersuchenden Substanz, die in der Luft zur Einheit genommen. Letztere haben wir nach den Versuchen von G. Moll $=332^m,244$ genommen.

Aus der elastischen Verlängerung, den Längs- und Querschwingungen ergeben sich sogleich die Schallgeschwindigkeiten, bezogen auf die in der Luft, und die Elasticitätscoëfficienten, in Kilogrammen pro Quadratmillimeter Querschnitt, mittelst folgender Formeln:

$$\log q = \log p + 3 \log l - 4 \log \varepsilon - 3{,}38243,$$

$$\log v = \log l' + \log n' - 5{,}22043,$$
$$\log q = 2 \log v + \log d + 1{,}05130,$$
$$q = \frac{P}{a}.$$

Das Verhältniſs zwischen den Aenderungen in dem Durchmesser und den elastischen Verlängerungen der Drähte ist von Poisson aufgefunden und von Herrn Cagniard-Latour bestätigt; allein die daraus entspringende Berichtigung fällt in die Fehlergränzen. Hatte dagegen der Stab eine bleibende Verlängerung erlitten, so wurde sein nunmehriger Querschnitt aus dieser Verlängerung berechnet, um in Bezug auf die Flächeneinheit die Last zu finden, die diese Verlängerung oder die Zerreiſsung bewirkt hatte. Bezeichnet man mit L^0 die ursprüngliche Länge des Stabes, so hat man:

$$a' = 100 \frac{L - L^0}{L^0}; \quad a = 1000 \frac{L' - L}{L}.$$

Die Elasticitätscoëfficienten wurden nicht aus den ersten Belastungen hergeleitet, weil die entsprechenden Verlängerungen zu klein sind, um genaue Resultate zu geben.

Die Dichtigkeiten bei -15^0 und $+100^0$ wurden hergeleitet aus den Ausdehnungscoëfficienten von Lavoisier und Laplace. Zur Auffindung der Dichtigkeiten bei 200^0 bediente ich mich des Mittels zwischen dem Ausdehnungscoëfficient von 0^0 bis 100^0 und dem von 0^0 bis 300^0, wie sie von Dulong und Petit gegeben sind. Da dieselben mit Silber und Gold nicht experimentirten, so setzte ich für diese Metalle den Ausdehnungscoëfficienten bis 200^0 als constant voraus.

I. *Versuche bei Temperaturen von* 15^0 *bis* 20^0 *C.*

Blei.

Dieſs Blei war reducirt aus seinem Oxyd, das durch Glühen von reinem Nitrat erhalten worden.

Digitized by Google

1) Gegossenes Blei.

				q	v
$d = 11{,}215$	$\varepsilon = 5{,}105$				
$l = 338$	$N = 15{,}54$	$n = 16{,}474$	woraus	1985,2	3,966
$l' = 686$	$s = 133$	$n' = 962{,}3$		1993,4	3,974

P	L'	L	a	a'	q
0,00		539,52			
0,05	539,58	539,58		0,111	
0,25	539,84	539,76	0,14	0,445	1786
0,40	539,93	539,78	0,28	0,482	
0,50	540,23	540,08	0,28	1,038	1786
0,60	540,33	540,15	0,33	1,167	1818
0,70	541,28	541,05	0,42	2,836	1667
1,00	561,50	561,19	0,55	40,176	1818

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 1775
Schallgeschwindigkeit = 3,561

$P_{,} < 0{,}05$; $A = 0{,}040$; $t = 1{,}25$ bis 2,21.

2) Blei gehämmert und ausgezogen.

				q	v
$d = 11{,}169$	$\varepsilon = 2{,}239$				
$l = 200$	$N = 13{,}068$	$n = 19{,}590$	woraus	1781,2	3,764
$l' = 1000$	$s = 181$	$n' = 707{,}2$		2278,0	4,257

P	L'	L	a	a'	q
0,00		885,48			
0,01	885,49	885,48			
0,02	885,59	885,50	0,10	0,022	
0,04	885,69	885,56	0,15	0,090	
0,45	885,78	885,62	0,18	0,158	
0,50	886,01	885,76	0,28	0,316	1786
0,60	886,28	886,01	0,30	0,598	2000
0,70	886,35	886,01	0,38	0,598	1842
0,80	893,83	893,38	0,48	8,920	1667
1,00	904,94	904,46	0,33	21,435	1886
1,32	937,80	937,02	0,83	59,335	1590
1,65	971,81	970,95	0,89	88,844	1854

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 1803
Schallgeschwindigkeit = 3,787

$P_{,} < 0{,}25$; $A = 0{,}243$; $t = 2{,}07$ bis 2,36; $d' = 11{,}170$.

Digitized by Google

3) Blei gehämmert, ausgezogen und angelassen bei 100°.

$d = 11{,}232$ $\varepsilon = 2{,}263$ q v
$l = 200$ $N = 12{,}808$ $n = 19{,}988$ woraus 1854,2 3,841
$l' = 1000$ $s = 187$ $n' = 684{,}5$ 2146,0 4,120

p	L'	L	a	a'	q
0,00		852,00			
0,10	852,07	852,03	0,047	0,035	2128
0,15	852,09	852,02	0,082	0,023	1829
0,20	852,13	852,03	0,117	0,035	1709
0,25	852,16	852,05	0,129	0,058	1938
0,30	852,24	852,07	0,199	0,082	1500
0,35	852,26	852,08	0,211	0,094	1659
0,40	852,30	852,10	0,234	0,117	1709
0,45	852,36	852,14	0,258	0,164	1744
0,50	852,37	852,15	0,258	0,176	1938
0,60	852,50	852,21	0,340	0,246	1765
0,70	852,73	852,37	0,422	0,434	1659
0,91	865,52	865,03	0,566	15,293	1608
1,03	879,10	878,48	0,707	31,080	1457
1,39	921,00	920,13	0,945	79,965	1471
1,72	981,90	981,02	0,956	151,432	1799

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 1727{,}5$
Schallgeschwindigkeit $= 3{,}697$
$P_{\prime} = 0{,}25$; $A = 0{,}614$; $t = 1{,}80$ bis $2{,}04$.

4) Dasselbe, nach dem Abreiſsen.

$d' = 11{,}308$ $\varepsilon = 1{,}816$
$l = 250$ $N = 25{,}283$ $n = 10{,}125$ $q = 1788{,}6$ $v = 3{,}749$.

Zinn.

Dasselbe war aus reinem Oxyd reducirt; es hatte ein solches Streben zur innern Krystallisation, daſs ich es für diese Versuche nicht zu einer hinreichend langen Stange ausgieſsen konnte, ohne daſs es nicht zerbrach. Zu einem Klumpen ausgegossen, hatte es das spec. Gewicht $= 7{,}285$.

Digitized by Google

1) Reines Zinn, gehämmert und ausgezogen.

$d=7{,}313$	$\varepsilon=1{,}929$		q	v
$l=300$	$N=18{,}818$	$n=13{,}606$ woraus	3839,7	6,829
$l'=1000$	$s=103$	$n'=1242{,}5$	4606,0	7,480

P	L'	L	$a+a'$
0,00		946,60	
0,20	946,64		0,042
0,30	946,66		0,063
0,40	946,69		0,095
0,50	947,00	946,84	0,422
1,01	950,54	950,21	1,161
1,53	963,13	962,68	17,455

$P_t=0{,}4$ bis $0{,}5$; $A=0{,}430$; $d'=7{,}263$; $t=2{,}45$ bis $2{,}94$ u. 300.

2) Reines Zinn, gehämmert und angelassen bei 100°.

$d=7{,}290$	$\varepsilon=1{,}931$		q	v
$l=300$	$N=19{,}089$	$n=13{,}401$ woraus	3703,4	6,719
$l'=1000$	$s=105$	$n'=1219$	4418,0	7,338

P	L'	L	$a+a'$
0,00		888,96	
0,05	889,02	889,01	0,067
0,10	889,09	889,06	0,145
0,20	889,16	889,12	0,225
0,30	889,29	889,19	0,370
0,40	889,45	889,32	0,515
0,50	898,08	897,86	10,256
0,60	900,48	900,22	12,956
0,90	905,38	905,05	18,464
1,00	910,06	909,70	23,726

$P_t=0{,}2$; $A=0{,}230$; $t=1{,}70$ bis $3{,}62$ und $3{,}57$.

3) Dasselbe, abgerissen.

$d'=7{,}293$ $\varepsilon=1{,}596$

$l=245$ $N=14{,}994$ $n=17{,}073$ $q=3918$ $v=6{,}909$.

Digitized by Google

Käufliches Zinn.

1) Gegossen.

$d=7{,}404$	$\varepsilon=2{,}541$			q	v
$l=390$	$N=23{,}350$	$n=10{,}963$	woraus	4172,4	7,076
$l'=477$	$s=90{,}5$	$n'=1414$		8643,0	7,465

2) Ausgezogen.

$d=7{,}342$	$\varepsilon=2{,}037$			q	v
$l=390$	$N=29{,}020$	$n=8{,}821$	woraus	4148,6	7,086
$l'=1000$	$s=104$	$n'=1231$		4564,0	7,401

Reines Kadmium.

Zum Klumpen geschmolzen, $d=8{,}6047$.

1) Gehämmert und ausgezogen.

$d=8{,}665$	$\varepsilon=0{,}716$			q	v
$l=200$	$N=20{,}636$	$n=12{,}405$	woraus	5424,0	7,456
$l'=1000$	$s=97{,}5$	$n'=1312{,}8$		6090,3	7,903

P	L'	L	$a+a'$
0,00		794,93	
0,10	794,96		0,037
0,15	795,03	793,97	0,125
0,20	795,06	793,98	0,163
0,25	795,20	795,11	0,342
0,50	795,41	795,25	0,615
0,75	795,70	795,48	0,968
1,00	796,06	795,82	1,421
1,25	796,96	796,58	2,553
1,51	797,96	797,48	3,912
1,76	800,48	799,88	6,977
2,34	808,27	807,27	16,760

$P_i=0{,}12$; $A=0{,}446$; $d'=8{,}553$; $t=2{,}24$.

2) Reines Kadmium, gehämmert, ausgezogen und angelassen bei 100°.

$d=8{,}520$	$\varepsilon=0{,}385$			q	v
$l=100$	$N=9{,}590$	$n=26{,}694$	woraus	5313,0	7,444
$l'=656$	$s=76$	$n'=1684$		4241,0	6,651

Digitized by Google

P	L'	L	$a+a'$
0,0		436,19	
0,2	436,57	436,57	0,869
0,4	436,77	436,72	1,327
0,6	436,80		1,396
0,8	437,18	437,06	2,265
1,0	437,56	437,40	3,135
1,2	437,85	437,71	3,853
1,5	468,57	438,28	5,446

$P_{\prime} < 02$; $A = 0{,}041$; $t = 4{,}81$.

3) Dasselbe, nach dem Abreifsen.

$d' = 8{,}541 \quad \varepsilon = 0{,}386$

$l = 100 \quad N = 8{,}941 \quad n = 28{,}632 \quad q = 4084 \quad v = 6{,}518.$

Gold.

Gefällt aus seiner Lösung mittelst schwefelsauren Eisenoxyduls. Geschmolzen zum Klumpen hatte es die Dichte 19,407.

1) Gehämmert und ausgezogen.

$d = 18{,}514 \quad \varepsilon = \quad 0{,}1998 \qquad\qquad q \quad v$

$l = 100 \quad N = \ 21{,}340 \quad n = 11{,}996$ woraus $8644{,}6 \ 6{,}441$

$l' = 938 \quad s = 112{,}5 \quad n' = 1347 \qquad\qquad 8599{,}0 \ 6{,}424$

P	L'	L	a	a'	q
3		803,30			
4	803,39	803,30	0,111		90090
5	803,57	803,30	0,335		59703
6	803,65	803,30	0,434		69123
7	803,73	803,29	0,536		74630
8	803,84	803,29	0,682		73315
9	803,97	803,29	0,843		71173
10	803,99	803,30	0,856		81773
11	804,02	803,30	0,893		90000
12	804,27	803,30	1,128		79787
13	804,28	803,30	1,215		82304
14	804,36	803,38		0,099	90534
15	804,48	803,37	1,376	0,087	87208
16	804,60		1,525		85246
17	804,77		1,736		80646
18	804,85		1,835		81743

Digitized by Google

P	L'	L	a	a'	q
19	804,95	803,39	1,934	0,111	82730
20	805,13	803,48	2,046	0,223	83088
21	805,27	803,51	2,182	0,250	82494
22	805,38	803,52	2,306	0,274	82394
23	805,59	803,68	2,376	0,474	84174
24	805,81	803,82	2,476	0,649	84184
25	805,87		2,550		86274
26	805,99	805,88	2,625	0,724	87620

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =81315
Schallgeschwindigkeit = 6,247

$P_{\prime}$ = 13 bis 14; A=0,0008; d'=18,858; t=26,6 bis 27 u. 28,4.

2) Reines Gold, gehämmert, ausgezogen und angelassen.

d=18,035 ε= 0,211 q v
l=100 N=24,164 n=10,594 woraus 5989,0 5,432
l'=938 s=129 n'=992,2 6372,9 5,603

P	L'	L	a	a'	q
1		702,94			
2	703,10	702,95			
3	703,22	702,98	0,341	0,056	7030
4	703,39	703,06	0,469	0,170	6391
5	705,60	703,04	0,796	0,142	5021
6	703,76	703,12	0,910	0,256	5492
7	704,24	703,45	1,124	0,725	5340
8	705,86	704,93	1,323	2,831	5291
9	709,09	707,95	1,609	7,127	4972
10,5	738,08	736,72	1,848	48,056	5140

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =55846
Schallgeschwindigkeit =5,245

$P_{\prime}$=3; A=0,049; t=10,8 bis 11,0 u. 11,1.

3) Dasselbe nach dem Abreifsen.

d'=19,077 ε= 0,2073
l=100 N=25,488 n=10,041 q=5833 v=5,212.

Reines Silber.

Geschmolzen zum Klumpen hatte es die Dichte 10,366.

Digitized by Google

1) Gehämmert und ausgezogen.

$d = 10{,}369$ $\varepsilon = 0{,}886$ | q | v
$l = 400$ $N = 60{,}98$ $n = 4{,}198$ woraus 7820,4 8,186
$l' = 800$ $s = 76{,}5$ $n' = 1673{,}2$ 7576,0 8,057

p	L'	L	a	a'	q	p	L'	L	a	a'	q
0,5		661,86				14,5	663,21	661,91	1,963	0,075	7383
1,0	661,91	661,86	0,075			15,0	663,28	661,91	2,068	0,075	7247
1,5	662,00	661,86	0,211			15,5	663,35	661,99	2,054	0,196	7544
2,0	662,06	661,86	0,302			16,0	663,41	661,99	2,144	0,196	7459
2,5	662,10	661,86	0,362		6017	16,5	663,44	661,99	2,189	0,196	7533
3,0	662,12	661,86	0,392		6894	17,0	663,45	661,99	2,205	0,196	7708
3,5	662,16	661,86	0,453		6847	17,5	663,51	661,99	2,295	0,196	7621
4,0	662,18	661,86	0,483		7473	18,0	663,57	661,99	2,386	0,196	7541
4,5	662,24	661,86	0,574		7354	18,5	663,60	662,08	2,295	0,332	8058
5,0	662,28	661,88	0,634	0,030	7446	19,0	663,65	662,08	2,371	0,332	8012
5,5	662,34	661,88	0,725	0,030	7194	19,5	663,73	662,07	2,506	0,317	7777
6,0	662,37	661,88	0,770	0,030	7429	20,0	663,84	662,07	2,673	0,317	7481
6,5	662,41	661,86	0,830	0,000	7226	20,5	663,86	662,07	2,703	0,317	7582
7,0	662,48	661,86	0,936	0,000	6939	21,0	663,86	662,07	2,703	0,317	7767
7,5	662,50	661,88	0,936	0,030	7472	21,5	663,87	662,14	2,720	0,423	8229
8,0	662,52	661,88	0,966	0,030	7756	22,0	664,08	662,14	2,929	0,423	7917
8,5	662,62	661,88	1,147	0,030	7154	22,5	664,27	662,15	3,201	0,438	7027
9,0	662,71	661,88	1,253	0,030	7177	23,0	664,28	662,15	3,216	0,438	7150
9,5	662,79	661,88	1,374	0,030	6909	23,5	664,32	662,20	3,277	0,513	7340
10,0	662,84	661,88	1,449	0,030	6894	24,0	664,59	662,20	3,609	0,513	6649
10,5	662,84	661,88	1,449	0,030	7239	24,5	664,66	662,43	3,367	0,861	7278
11,0	662,87	661,88	1,495	0,030	7354	25,0	664,69	662,43	3,413	0,861	7327
11,5	662,88	661,91	1,465	0,075	7846	25,5	664,85	662,50	3,548	0,966	7188
12,0	662,94	661,91	1,555	0,075	7711	26,0	664,82	662,50	3,503	0,966	7424
12,5	662,98	661,91	1,616	0,075	7732	26,5	664,95	662,56	3,609	1,057	7226
13,0	663,13	661,91	1,842	0,075	7052	27,0	665,08	662,56	3,805	1,057	7098
13,5	663,19	661,93	1,902	0,106	7091	27,5	665,19	662,63	3,865	1,163	7118
14,0	663,19	661,91	1,933	0,075	7354						

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 7357{,}7$
Schallgeschwindigkeit $= 7{,}940$

$P_{\prime} = 11$; $\varDelta = 0{,}0045$; $t = 29$ bis 29,6.

2) Dasselbe, gerissen.

$d' = 10{,}320$ $\varepsilon = 0{,}4233$
$l = 150$ $N = 18{,}040$ $n = 14{,}191$ $q = 7648$ $v = 8{,}115$.

3) Reines Silber, gehämmert, ausgezogen und angelassen.

$d = 10{,}304$ $\varepsilon = 0{,}8894$ — q — v
$l = 250$ $N = 24{,}01$ $n = 10{,}662$ woraus 7533,0 8,060
$l' = 1000$ $s = 97{,}5$ $n' = 1313$ — 7242,0 7,903

P	L'	L	a	a'	q
0,5		966,65			
1,5	966,83	966,67	0,165	0,020	6060
2,5	966,96	966,68	0,289	0,030	6920
3,0	967,10	966,75	0,362	0,103	6908
4,0	967,22	966,75	0,486	0,103	7202
5,0	967,34	966,78	0,579	0,238	7771
6,0	967,86	967,09	0,796	0,455	6908
7,0	970,94	970,12	0,844	3,590	7696
8,0	971,76	970,72	1,071	4,210	7009
8,5	975,96	974,76	1,231	8,390	6497
9,2	990,87	989,61	1,273	23,752	6910
10,4	1005,30	1003,91	1,384	38,545	7138
11,8	1034,92	1033,48	1,394	87,036	8059
13,2	1075,58	1073,82	1,639	110,687	7748

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 7145{,}5$
Schallgeschwindigkeit $= 7{,}847$

$d' = 10{,}193$; $P_l = 2{,}5$ bis 3; $A = 0{,}168$; $t = 16{,}2$ bis $16{,}5$ u. $16{,}3$.

Destillirtes Zink.

Gegossen in eine guſseiserne Form.

$d = 7{,}146$ $\varepsilon = 5{,}048$ — q — v
$l = 413$ $N = 8{,}644$ $n = 29{,}616$ woraus 9423,0 10,823
$l' = 839$ $s = 60$ $n' = 2133{,}3$ — 9338,0 10,774

P	L'	L	a	a'	q
0,00		317,08			
0,75	317,11	317,08	0,094		7978
1,00	317,12	317,08	0,126		7937
1,75	317,18	317,12	0,189	0,126	9259
2,5	317,26	317,17	0,284	0,284	8803
3,0	317,31	317,21	0,315	0,410	9524
3,5	317,44	317,30	0,442	0,694	7918
4,0	317,54	317,42	6,379	1,073	10554

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 9021$
Schallgeschwindigkeit $= 10{,}591$

$P_l = 2{,}2$; $A = 0{,}0015$; $t = 4{,}5$ bis $5{,}9$.

Pal-

Digitized by Google

Ungeachtet mehrfacher Versuche von zwei geschickten Drahtziehern war es weder durch Hämmern noch durch Walzen möglich das Zink so homogen zu machen, daſs es zu Draht gezogen werden konnte. Ich muſste also die folgenden Versuche mit gewöhnlichem Zinkblech machen.

Käufliches Zink.

Zum Klumpen geschmolzen hat es die Dichte 6,938. Die Analyse gab auf 100 Metall: Eisen 0,056, Blei 0,990.

1) Ausgezogen.

				q	v
$d = 7{,}008$	$\varepsilon = 1{,}4265$				
$l = 300$	$N = 16{,}455$	$n = 15{,}558$	woraus	8793,6	10,560
$l' = 1000$	$s = 70$	$n' = 1828{,}5$		9555,0	11,007

P	L'	L	a	a'	q
0,0		861,73			
0,2	861,75		0,0226		8849
0,3	861,76		0,0348		8620

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 8734
Schallgeschwindigkeit = 10,523

P	L'	L	$a+a'$
0,00		780,58	
0,50	780,68	780,60	0,128
0,75	780,73	780,63	0,192
1,00	780,91	780,74	0,422
1,25	782,16	781,98	2,023
1,50	782,37	782,13	2,292
2,00	782,49	782,27	2,446
2,50	783,06		3,303
3,10	789,79	789,17	11,793
3,50	791,03	790,37	13,508
4,00	793,53	792,58	16,581
4,80	830,00	829,19	63,277
5,30	833,30	832,21	67,505
5,90	839,39	838,44	75,301
6,50	853,35	852,16	93,175
7,30	881,77	880,26	129,568
8,00	895,48	893,80	147,120
9,20	964,57	962,49	235,600

$P_t = 0{,}75$; $A = 0{,}505$; $t = 12{,}8$ bis 15,77.

2) Dasselbe, nach dem Reifsen.

$d' = 6{,}997$ $\varepsilon = 1{,}363$
$l = 300$ $N = 18{,}302$ $n = 13{,}987$ $q = 9324$ $v = 10{,}882$.

3) Zink ausgezogen und angelassen bei 200°.

				q	v
$d = 7{,}060$	$\varepsilon = 1{,}363$				
$l = 400$	$N = 29{,}330$	$n = 8{,}728$	woraus	9641,0	11,016
$l' = 800$	$s = 57$	$n' = 2246$		9292,0	10,814

P	L'	L	$a + a'$
0		661,32	
1	661,46	661,36	0,211
2	661,69	661,49	0,559
3	662,44	662,05	1,693
4	663,09	662,54	2,676
5	664,97	664,08	5,519
6	670,36	669,27	13,670
7	699,98	698,75	58,459

$P_{\prime} = 1$; $A = 0{,}270$; $t = 14{,}4$.

Palladium.

1) Gehämmert und ausgezogen.

$d = 11{,}359$ $\varepsilon = 0{,}245$
$l = 123$ $N = 16{,}543$ $n = 15{,}475$ $q = 12395$ $v = 10{,}066$

P	L'	L	a	a'	q
8,236	794,66	794,51	0,189		13485
10,778	794,88	794,51	0,466		10926
13,320	795,03	794,51	0,654		11658
15,862	795,19	794,53	0,831	0,025	12245
18,404	795,46	794,56	1,133	0,063	11225
20,942	795,71	794,61	1,384	0,126	11018

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 11759
Schallgeschwindigkeit = 9,804

$P_{\prime} = 18$; $A = 0{,}0002$; $t = 27{,}2$.

2) Dasselbe, angelassen.

$d = 11{,}225$ $\varepsilon = 0{,}250$
$l = 104$ $N = 12{,}600$ $n = 20{,}318$ $q = 11281$ $v = 9{,}450$

Digitized by Google

P	L'	L	a	a'	q
8,243	722,47	722,31	0,221		11479
10,786	725,48	725,09	0,538	3,849	9456
13,555	735,22	734,59	0,858	17,001	9159
16,466	750,18	749,29	1,188	37,352	9064

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =9789
Schallgeschwindigkeit =8,803

$P_{\prime} < 5$; $A = 0{,}205$; $t = 27{,}4$.

Kupfer.

Ich verdanke dieses Kupfer der Güte des Hrn. Pelouze; es ist sehr geschmeidig und enthält auf 100 Theilen nur 0,38 Silber und 0,80 Eisen. Zusammengeschmolzen hat es die Dichte 8,729.

1) Gehämmert und ausgezogen.

				q	ϱ
$d = 8{,}933$	$\varepsilon = 1{,}4986$				
$l = 450$	$N = 33{,}356$	$n = 7{,}675$	woraus	12513	11,108
$l' = 1000$	$s = 69$	$n' = 1855$		12536	11,167

P	L'	L	a	a'	q
0		787,22			
3	787,39	787,22	0,216		
4	787,45	787,22	0,292		
5	787,53	787,22	0,393		12700
6	787,64	787,22	0,533		11249
7	787,65	787,22	0,546		12820
8	787,74	787,22	0,660		12121
9	787,80	787,22	0,736		12218
10	787,86	787,22	0,813		12300
11	787,90	787,22	0,863		12737
12	787,99	787,26	0,927	0,050	12954
13	788,09	787,28	1,028	0,076	12637
14	788,17	787,27	1,143	0,063	12250
15	788,20	787,27	1,181	0,063	12700
16	788,31	787,30	1,282	0,101	12474
17	788,36	787,30	1,346	0,101	12628
18	788,44	787,31	1,435	0,114	12543
19	788,49	787,31	1,498	0,114	12679
20	788,55	787,32	1,562	0,127	12804
21	788,62	787,32	1,651	0,127	12720
22	788,69	787,32	1,740	0,127	12644

Digitized by Google

p	L'	L	a	a'	q
23	788,80	787,34	1,858	0,152	12348
24	788,90	787,40	1,905	0,228	12599
25	788,95	787,40	1,968	0,228	12700
26	789,06	787,43	2,070	0,267	12560
27	789,15	787,43	2,148	0,267	12360
28	789,28	787,50	2,260	0,355	12386
29	789,43	787,62	2,298	0,508	12616
30	789,53	787,64	2,400	0,533	12499
31	789,68	787,71	2,502	0,622	12390
32	789,84	787,77	2,627	0,698	12182
33	789,97	787,83	2,715	0,774	12151
34	790,13	787,94	2,779	0,914	12234
35	790,33	787,96	3,007	0,939	11637
36	790,50	788,20	2,619	1,244	12334
38	791,22	788,83	3,033	2,043	12529
40	792,00	789,28	3,452	2,614	11588

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 12449
Schallgeschwindigkeit = 11,128

$P_t = 12$; $A = 0{,}003$; $t = 40{,}30$ bis $41{,}0$.

2) Kupfer gehämmert, ausgezogen und angelassen.

$d = 8{,}936$ $\varepsilon = 1{,}499$ q v
$l = 450$ $N = 34{,}300$ $n = 7{,}4637$ woraus 11833 10,847
$l' = 1000$ $s = 69$ $n' = 1855$ 12540 11,167

p	L'	L	a	a'	q
0,00		750,46			
1,00	750,73	750,46			
2,00	750,73	750,46			
3,00	750,86	750,52		0,080	
4,00	751,21	750,63		0,226	
5,00	751,46	751,16	0,400	0,933	12500
7,04	755,92	755,38	0,715	6,556	9853
8,09	759,52	758,90	0,817	11,246	9911
9,18	765,45	764,74	0,928	19,028	9891
10,25	769,47	768,69	1,014	24,292	10132
11,35	775,32	774,50	1,059	32,037	10740
13,62	787,61	786,57	1,323	48,117	10295
14,81	794,44	793,35	1,374	57,151	10773
16,08	802,52	801,30	1,523	67,647	10518
17,36	814,84	813,50	1,647	84,002	10536
18,67	825,08	823,62	1,773	97,485	10531
19,89	830,28	828,74	1,858	104,309	10704
21,51	850,81	849,10	2,014	131,436	10681
23,05	866,61	864,59	2,336	152,080	9869
24,87	890,31	888,29	2,274	183,640	10941
26,63	911,41	909,09	2,552	211,375	10449

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 10519
Schallgeschwindigkeit = 10,703

$P_t < 3$; $A = 0{,}220$; $t = 30{,}54$ bis $31{,}55$ u. $31{,}68$.

3) Dasselbe, nach dem Abreiſsen.

$d=8{,}890$ $\varepsilon=1{,}359$
$l=400$ $N=29{,}555$ $n=8{,}662$ $q=12040$ $v=10{,}970.$

Platin.

Aus der Fabrik von Hrn. Bréant.

1) Dicker Draht ausgezogen.

				q	v
$d=21{,}259$	$\varepsilon=0{,}797$				
$l=400$	$N=68{,}00$	$n=3{,}7647$	woraus	15814	8,130
$l'=800$	$s=75$	$n'=1706{,}6$		16159	8,218.

2) Derselbe, angelassen.

				q	v
$d=21{,}2075$	$\varepsilon=0{,}798$				
$l=396$	$N=66{,}833$	$n=3{,}835$	woraus	15683	8,106
$l'=765$	$s=73$	$n'=1753{,}4$		15560	8,074.

3) Dünner Draht ausgezogen.

				q	v
$d=21{,}166$	$\varepsilon=0{,}2015$				
$l=150$	$N=36{,}358$	$n=7{,}041$	woraus	15928	8,177
$l'=1000$	$s=93{,}5$	$n'=1369$		16176	8,241.

4) Dünner Draht angelassen.

				q	v
$d=20{,}753$	$\varepsilon=0{,}196$				
$l=150$	$N=40{,}21$	$n=6{,}590$	woraus	14373	7,845
$l'=1000$	$s=98{,}5$	$n'=1299{,}5$		14292	7,823.

5) Mittlerer Draht ausgezogen.

				q	v
$d=21{,}275$	$\varepsilon=0{,}3124$				
$l=100$	$N=10{,}414$	$n=24{,}583$	woraus	17153	8,456
$l'=1000$	$s=91$	$n'=1406{,}6$		17165	8,467

p	L'	L	a	a'	q
1		840,11			
5	840,32	840,11	0,250		16000
6	840,39	840,11	0,333		15006
7	840,43	840,11	0,381		15756
8	840,50	840,11	0,464		15083
9	840,52	840,11	0,488		16397

Digitized by Google

p	L'	L	a	a'	q
10	840,61	840,11	0,595		15126
11	840,62	840,11	0,607		16474
12	840,67	840,11	0,664		16566
13	840,69	840,11	0,690		17386
14	840,70	840,11	0,702		18518
15	840,74	840,11	0,749		18674
16	840,79	840,11	0,809		18537
17	840,88	840,12	0,904	0,012	17691
18	840,91	840,12	0,940	0,012	18083
19	840,97	840,12	1,023	0,012	17588
20	841,00	840,12	1,059	0,012	17941
21	841,09	840,12	1,166	0,012	17149
22	841,13	840,12	1,214	0,012	17301
23	841,17	840,12	1,250	0,012	17600
24	841,23	840,12	1,333	0,012	17254
25	841,29	840,12	1,404	0,012	17093
26	841,34	840,15	1,416	0,046	17655
27	841,41	840,17	1,475	0,071	17627
28	841,51	840,17	1,594	0,071	16932
29	841,58	840,20	1,642	0,107	17052
30	841,64	840,21	1,702	0,119	17039
31	841,77	840,31	1,737	0,238	17271
32	841,90	840,34	1,856	0,274	16703
33	842,23	840,65	1,880	0,642	17021
34	842,54	840,85	2,011	0,880	16841

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =17044
Schallgeschwindigkeit =8,437

$P_{\prime}=26$; $A=0,0009$; $d'=20,987$; $t=34$ bis 35.

6) Dasselbe, angelassen.

				q	v
$d=21,0826$	$\varepsilon=0,2348$				
$l=100$	$N=14,580$	$n=17,558$	woraus	15355	8,045
$l'=1000$	$s=94$	$n'=1347,5$		15611	8,111

p	L'	L	a	a'	q
1		743,70			
3	743,79	743,70	0,121		16534
4	743,86	743,70	0,215		13953
5	743,91	743,70	0,282		14172
6	743,94	743,70	0,322		15501
7	743,98	743,70	0,376		15945
8	744,04	743,70	0,457		15318
9	744,08	743,70	0,510		15665
10	744,13	743,70	0,578		15573

Digitized by Google

p	L'	L	a	a'	q
11	744,20	743,70	0,672		14881
12	744,24	743,70	0,726		15158
13	744,28	743,70	0,779		15394
14	744,31	743,71	0,806	0,013	16121
15	744,40	743,75	0,873	0,067	16025
16	744,49	743,80	0,927	0,134	16174
17	744,56	743,80	1,021	0,134	15664
18	744,96	744,18	1,048	0,645	16217

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =15518
Schallgeschwindigkeit =8,087
P_t = 14 bis 15; A=0,0023; t=23,5 bis 25,8 u. 27,7.

8) Dasselbe, nach dem Reiſsen.

d'=20,987 ε= 0,312
l=100 N=10,448 n=24,502 q=16748 v=8,421.

Eisen, aus Berry.

Nach der Methode von Fuchs [1]) analysirt fand ich in demselben: Eisen 97,113, Kohle 0,416, Kieselerde Spur.

1) Ausgezogen.

d=7,748 ε= 1,5043 — q — v
l=500 N=31,423 n=8,146 woraus 18547 14,584
l'=1000 s=51 n'=2509,8 — 19903 15,108

p	L'	L	a	a'	q
0		769,88			
5	770,09	769,88	0,273		18333
10	770,22	769,88	0,441		22647
15	770,46	769,88	0,753		19914
20	770,64	769,88	0,987		20263
25	770,82	769,88	1,221		20479
30	771,00	769,88	1,454		20625
35	771,15	769,96	1,545	0,104	22647
40	771,43	770,00	1,857	0,156	21538
45	771,64	770,06	2,052	0,234	21930
50	771,94	770,16	2,312	0,363	21629
55	772,41	770,37	2,649	0,505	20760
60	773,75	771,40	3,052	0,675	

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =20972
Schallgeschwindigkeit =15,508
P_t=32,5; A=25,97; d'=7,751; t=61,2 bis 62,5 u. 65,1.

1) Jahrb. für prakt. Chemie Bd. XVIII S. 495.

Digitized by Google

2) Dasselbe angelassen.

$d = 7,7574$ $\varepsilon = 1,5037$ q v

$l = 500$ $N = 30,706$ $n = 8,337$ woraus 19410 14,913

$l' = 1000$ $s = 51$ $n' = 2509,8$ 19925 15,108

P	L'	L	a	a'	q
0		784,08			
5	784,41	784,24	0,217	0,204	23067
10	784,60	784,31	0,369	0,293	23067
15	784,79	784,31	0,612	0,293	24501
20	785,05	784,34	0,905	0,331	22093
25,0	785,29	784,43	1,096	0,446	22800
30,4	796,70	795,34	1,710	14,361	17791
33,8	804,76	803,23	1,905	24,423	17741
37,3	815,15	813,42	2,127	37,420	17555
42,32	832,01	829,81	2,651	58,323	

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 20794$

Schallgeschwindigkeit $= 15,433$

$P_{\iota} < 5$; $A = 0,109$; $t = 46,88$ bis $50,25$.

3) Nach dem Abreiſsen.

$d' = 7,7513$ $\varepsilon = 1,471$

$l = 400$ $N = 21,118$ $n = 12,122$ $q = 17538$ $v = 14,179$.

Guſsstahl.

Die Analyse gab: Eisen 98,692, Mangan Spur, Kohle 1,495, Kieselerde 0,395.

1) Ausgezogen.

$d = 7,717$ $\varepsilon = 1,5058$ q v

$l = 500$ $N = 31,540$ $n = 8,116$ woraus 18247 14,495

$l' = 1000$ $s = 51$ $n' = 2509,8$ 19823 15,108

P	L'	L	a	a'	q
0		783,65 [1])			
5	783,88	783,67			
10	784,20	783,73	0,535		18662
15	784,29	783,73	0,650		23053

1) Dieser Stab war nicht völlig gerad gemacht; die ersten Verlängerungen rühren also von seiner Geradwerdung her. Aus diesem Grunde

Digitized by Google

P	L'	L	a	a'	q
20	784,56	783,79	0,995		20098
25	784,74	783,78	1,225		20412
30	785,02	783,78	1,582		18963
35	785,24	783,78	1,863		18790
40	785,33	783,78	1,977		20228
45	785,58	783,78	2,296		19595
50	785,82	783,78	2,602		19211
55	786,04	783,78	2,883		19075
60	786,20	783,86	2,985	0,100	20097
65	786,51	783,90	3,330	0,153	19520
70	786,80	783,96	3,623	0,229	19319
75	787,30	784,03	4,172	0,319	17977
80,2	789,55	786,09	4,402	3,013	18224

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =19549

Schallgeschwindigkeit =15,003

$P_t = 55$ bis 60; $A = 0{,}003$; $t = 83{,}8$.

2) Dasselbe angelassen.

$d = 7{,}7188$ $\varepsilon = 1{,}507$ — q — v

$l = 500$ $N = 31{,}046$ $n = 8{,}2457$ woraus 18811 14,716

$l' = 1000$ $s = 51$ $n' = 2509{,}8$ — 19443 14,961

P	L'	L	a	a'	q
0		782,00			
5	782,28	782,06	0,281	0,076	17784
10	782,52	782,07	0,575	0,089	17389
15	782,75	782,19	0,715	0,243	20960
20	782,91	782,19	0,920	0,243	21736
25	783,22	782,19	1,316	0,243	18992
30	783,34	782,28	1,354	0,358	22144
35	783,58	782,28	1,661	0,358	21067
40	783,83	782,32	1,928	0,409	20728
45	784,46	782,84	2,070	1,074	21735
50,2	786,81	784,72	2,663	3,478	18847
55,4	790,83	788,36	3,133	8,133	17688
60,6	793,59	790,53	3,871	10,902	

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 19561

Schallgeschwindigkeit = 15,006

$P_t = 5$; $A = 0{,}011$; $d' = 7{,}7092$; $t = 65{,}7$.

sind seine Verlängerungen nach der Länge berechnet, die er hernach hatte und die 783,78 betrug.

Digitized by Google

Englischer Stahl (Klavierdraht).

$d = 7,718$ $\varepsilon = 0,310$			q	v
$l = 100$ $N = 5,75$	$n = 44,522$	woraus	20714	15,442
$l' = 1000$ $s = 51,5$	$n' = 2485,4$		19445	14,961

p	L'	L	a	a'	q
5		954,72			
7,5	954,84	954,72	0,126		19890
10,0	955,01	954,72	0,304		16461
12,5	955,13	954,72	0,429		17464
15,0	955,26	954,72	0,565		17680
17,5	955,39	954,72	0,702		17812
20,0	955,53	954,72	0,848		17680
22,5	955,64	654,72	0,963		18160
25,0	955,73	954,72	1,058		18906
27,5	955,82	954,72	1,152		19529
30,0	955,99	954,72	1,330		18794
32,5	956,11	954,72	1,456		18889
35,0	956,23	954,72	1,581		18969
37,5	956,32	954,72	1,676		19393
40,0	956,43	954,72	1,791		19541
42,5	956,60	954,72	1,969		19044
45	956,70	954,73	2,063	0,010	19385
47,5	956,77	954,73	2,137	0,010	19890
50	957,01	954,78	2,336	0,063	19266
52,5	957,18	954,79	2,503	0,073	18974
55	957,30	954,79	2,629	0,073	19019
57,5	957,42	954,79	2,828	0,073	18564
60	957,50	954,79	2,912	0,073	18889
62,5	957,79	954,94	2,985	0,230	19262
67,5	958,22	955,32	3,133	0,534	19957

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 18809
Schallgeschwindigkeit = 14,716

$Pl = 47,5$ bis 50; $A = 0,0006$;

$t = 70$, nach 3tägiger Wirkung. Plötzliches Abreiſsen: 85,9 bis 99,1.

2) Derselbe angelassen.

$d = 7,6216$ $\varepsilon = 0,3025$			q	v
$l = 100$ $N = 5,808$	$n = 44,077$	woraus	21070	15,673
$l' = 1000$ $s = 51,5$	$n' = 2485,4$		19200	14,961

P	L'	L	a	d'	q
5		736,25			
10	736,45	736,25	0,272		18407
15	736,70	736,28	0,570	0,041	17530
20	736,94	736,30	0,869	0,067	17256
25	737,56	736,63	1,263	0,516	15834
30	737,62	736,56	1,439	0,241	17364
35	740,04	739,44		4,333	

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =17278
Schallgeschwindigkeit =14,193

$Pt=15$; $A=0,0044$; $t=40$ bis 53,9.

3) Derselbe gerissen.

$d=7,710$ $\varepsilon=0,3043$
$l=100$ $N=6,480$ $n=39,506$ $q=16728$ $v=14,193$

Deutscher Stahl.

Ein Stab von deutschem Stahl, 1 Meter lang und 3 Centm. breit gab einen longitudinalen Ton von 2485,5 Schwingungen in der Secunde; dieser Ton war noch beinahe derselbe, nachdem der Stab stark magnetisirt worden.

Nicht-homogene Metalle.

Destillirtes Zink.

Gegossen in Sand und langsam erkaltet. Die Stäbe im Innern sehr deutlich krystallisirt.

				q	v
$d=7,134$	$\varepsilon=4,346$				
$l=400$	$N=11,04$	$n=23,188$	woraus	6778,4	9,188
$l'=842$	$s=67$	$n'=1910,5$		7536,0	9,683.

Reines Wismuth, gegossen.

				q	v
$d=9,822$	$\varepsilon=5,109$				
$l=218$	$N=5,415$	$n=47,246$	woraus	2473,0	4,731
$l'=915$	$s=129$	$n'=992,7$		3290,0	5,455.
	$t=0,97$				

Digitized by Google

Reines Antimon, gegossen.

				q	v
$d=6{,}641$	$\varepsilon=5{,}098$				
$l=416$	$N=14{,}412$	$n=17{,}763$	woraus	3144,0	6,486
$l'=932{,}5$	$s=89{,}5$	$n'=2860{,}3$		4817,0	8,028.
	$t=0{,}65$ bis 0,70.				

II. *Versuche bei der Temperatur von* 100° *C.*

Reines Blei, ausgezogen, angelassen bei 100°.

$d=11{,}075$

P	L'	L	a	a'	q
0,0		739,90			
0,1	740,60	740,54	0,081	0,864	1234
0,3	740,62	744,51	0,148	6,225	2026
0,4	789,14	789,11		66,450	

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $=1630$
Schallgeschwindigkeit $=3{,}616$

$Pt<0{,}1$; $A=0{,}085$; $t=0{,}54$.

Reines Zinn, angelassen bei 100° C.

$d=7{,}284$

P	L'	$a+a'$
0,0	893,43	
0,1	894,45	1,141
0,2	898,89	6,111
0,3	910,59	19,654
0,4	936,19	47,861

$Pt<0{,}1$; $A=0{,}302$; $t=0{,}85$.

Reines Kadmium, angelassen bei 100° C.

Da die Ausdehnbarkeit dieses Metalles nicht bekannt war, so habe ich sie, so genau es möglich war, mit meinem Apparat bestimmt. Ich fand von 0° bis 100° C. die lineare Ausdehnung $=0{,}001187$.

Digitized by Google

$d = 8{,}520.$

P	L'	a+a'
0,0	710,90	
0,5	711,09	0,267
1,0	713,54	5,331

$Pl < 0{,}5$; $A = 0{,}022$; $t = 2{,}6$.

Reines Gold, angelassen.

$d = 17{,}953.$

P	L'	L	a	a'	q
0		760,10			
2	760,22	760,08	0,184		5435
4	760,40	760,02	0,500		6000
5	760,53	760,12	0,540	0,26	
6	760,87	760,14	0,961	0,052	5203
7	760,92	760,14	1,026	0,052	5848
8	761,22	760,18	1,368	0,105	5117
9	761,42	760,23	1,565	0,171	5112
10	761,75	760,42	1,750	0,421	5143

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 5408
Schallgeschwindigkeit = 5,147

$Pl = 6$; $A = 0{,}0684$; $t = 12{,}6$.

Reines Silber, angelassen.

$d = 10{,}245.$

P	L'	L	a	a'	q
0		712,33			
2	712,46	712,33	0,182		
3	712,61	712,40	0,295	0,098	
4	712,75	712,40	0,491	0,098	
5	712,84	712,47	0,519	0,196	7701
6	712,93	712,46	0,660	0,182	7578
7	713,12	712,46	0,926	0,182	6476
8	713,11	712,45	0,926	0,168	7555
9	713,37	712,58	1,109	0,351	7213
10	713,68	712,78	1,263	0,632	7123

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 7274
Schallgeschwindigkeit = 7,943

$Pl < 3$; $A = 0{,}017$; $t = 14{,}0$.

Digitized by Google

Gewöhnliches Zink, angelassen bei 200° C.

$d = 6{,}998$

P	L'	a+a'	P	L'	a+a'
0	661,11		4	664,40	4,976
1	661,19	0,121	5	669,10	12,100
2	661,60	0,741	6	674,01	19,512
3	662,72	2,435			

$Pl < 1$; $A = 0{,}152$; $t = 12{,}2$.

Platin, angelassen.

$d = 21{,}027$.

P	L'	L	a	a'	q
1		732,13			
5	732,50	732,13	0,560		
7	732,62	732,09	0,724		
9	732,55	732,09	0,669		
11	732,72	732,06	0,778	0.027	
13	732,81	732,17	0,874	0,054	13728
15	732,90	732,17	0,997	0,054	14041
17	733,04	732,23	1,106	0,136	14462
19	733,54	732,63	1,243	0,683	14482

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 14178$
Schallgeschwindigkeit $= 7{,}740$

$Pl = 13$; $A = 0{,}003$; $t = 22{,}6$.

Kupfer, angelassen.

$d = 8{,}891$.

P	L'	L	a	a'	q
0		684,28			
2	684,48	684,34	0,204	0,087	9776
5	684,93	684,72	0,306	0,643	
8	693,53	692,99	0,779	12,727	10273
12	714,57	713,62	1,331	42,874	9014
16	738,78	737,70	1,464	78,060	10246

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 9827$
Schallgeschwindigkeit $= 9{,}910$

$Pl < 2$; $A = 0{,}250$; $t = 22{,}1$.

Digitized by Google

Eisen, angelassen.

$d = 7{,}729$

P	L'	L	a	a'	q
0		743,01			
5	743,33	743,16	0,228	0,201	21861
10	743,69	743,44	0,236	0,578	
15	743,87	743,36	0,686	0,471	21861
20	744,01	743,36	0,874	0,471	22870
25	744,17	743,31	1,157	0,403	21607
30	739,62	748,56	1,416	7,467	21185
35	761,28	759,90	1,816	22,723	

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =21877
Schallgeschwindigkeit =15,859

$P_l < 5$; $A = 0{,}025$; $t = 51{,}1$.

Gewöhnlicher Eisendraht.

$d = 7{,}543$.

P	L'	L	a	q
30	872,74	871,53	1,388	21620
30	872,81	871,53	1,469	20427
30	839,09	837,84	1,492	20107
30	839,18	837,81	1,635	18346
30	839,05	837,76	1,540	19484

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =19995
Schallgeschwindigkeit =15,347

Guſsstahl, angelassen.

$d = 7{,}694$

P	L'	L	a	a'	q
0		752,04			
5	752,22	752,04	0,239		
10	752,52	752,09	0,571	0,066	
15	752,69	752,12	0,757	0,106	19803
20	752,97	752,14	1,103	0,133	18132
25	753,18	752,23	1,262	0,252	19803
30	753,41	752,25	1,541	0,279	19461
35	754,49	753,08	1,874	1,382	18679
40	754,70	753,03	2,219	1,315	18024
50	755,12	753,16	2,604	1,488	19196

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =19014
Schallgeschwindigkeit =14,819

$P_l < 10$.

Digitized by Google

Stahldraht, angelassen.

$d = 7{,}597$.

p	L'	L	a	a'	q
5		888,28			
10	888,47	888,28	0,213		
15	888,64	888,32	0,360	0,045	
20	888,95	888,32	0,709	0,045	21150
25	889,27	888,44	0,934	0,180	21405
30	889,45	888,25	1,351	0,000	
35	889,54	888,29	1,407	0,011	21319
40	890,73	889,27	1,643	1,115	21295

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 21292
Schallgeschwindigkeit = 15,781

$Pl = 15$; $A = 0{,}0025$; $t = 59{,}1$.

Stahldraht, blau angelassen.

$d = 7{,}410$.

p	L'	L	a	q
22,5	829,46	828,43	1,243	18096
22,5	803,44	802,44	1,246	18055
22,5	858,94	856,98	1,120	20085
22,5	858,85	856,87	1,144	19673

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 18977
Schallgeschwindigkeit = 15,085

III. *Versuche bei der Temperatur von* 200° *C.*

Gold, angelassen.

$d = 17{,}873$

p	L'	L	a	a'	q
1		770,90			
2	771,06	770,93	0,168		5931
3	771,19	771,54	0,389		5143
4	771,82	771,52	0,363	0,830	
5	772,08	771,52	0,726	0,804	5507
6	773,77	773,09	0,879	0,841	5684
7	789,90	788,98	1,166	23,453	5146
8	814,21	813,19	1,255	54,857	

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 5482
Schallgeschwindigkeit = 5,221

$Pl < 4$; $A = 0{,}140$; $t = 12{,}06$.

Sil-

Digitized by Google

Silber, angelassen.

$d = 10{,}187$

P	L'	L	a	a'	q
1		740,57			
2	740,69	740,57	0,162		6172
4	741,31	741,18	0,175	0,553	
5	747,79	747,40	0,522	9,222	
6	748,34	747,74	0,802	9,681	6231
7	748,56	747,87	0,923	8,857	6502
8	754,52	753,66	1,141	17,675	6134
9	760,86	759,97	1,171	26,195	6831

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 6374
Schallgeschwindigkeit = 7,456

$Pl = 3$ bis 4; $A = 0{,}176$; $t = 14{,}0$.

Zink, angelassen.

$d = 6{,}936$

P	L'	a+a'	P	L'	a+a'
0	650,16		4	655,40	8,059
1	650,30	0,215	5	671,68	33,100
2	650,65	0,753	6	695,80	70,198
3	651,48	2,030			

$Pl < 1$; $A = 0{,}154$; $t = 7{,}27$.

Platin, angelassen.

$d = 20{,}969$

P	L'	L	a	a'	q
1		724,08			
3	724,26	724,09	0,234		
5	724,32	724,08	0,331		12021
7	724,41	724,08	0,456		13158
9	724,51	724,08	0,594		13468
11	724,55	724,08	0,649		15408
13	725,35	724,54	1,119	0,635	10724
17	727,38	727,15	1,230	4,240	13008

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung = 12964
Schallgeschwindigkeit = 7,412

$Pl = 11$ bis 13; $A = 0{,}005$; $t = 19{,}7$.

Kupfer, angelassen.

$d = 8,840$

P	L'	L	a	a'	q
0,00	—	715,90			
1,00	717,09	716,91		1,410	
3,00	716,95	716,91		1,410	
5,00	717,71	717,24	0,656	1,871	7617
8,09	725,10	724,29	1,118	11,991	7236
12,50	747,06	745,89	1,568	41,900	7970
17,59	788,99	787,29	2,159	99,710	8148
20,00	894,40	892,26	2,398	197,468	8339

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 7862$
Schallgeschwindigkeit $= 8,890$

$P_l < 1$; $A = 0,250$.

Eisen, angelassen.

$d = 7,696$

P	L'	L	a	a'	q
0		716,12			
5	716,57	716,30	0,377	0,251	
15	716,97	716,40	0,796	0,391	18847
20	717,18	716,40	1,089	0,391	18364
25	718,92	717,96	1,337	2,569	18697
30	729,81	728,36	1,990	17,090	15070
35	737,40	735,97	1,943	27,716	18014
40	750,26	748,52	2,324	45,240	17207

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 17700$
Schallgeschwindigkeit $= 14,295$

$P_l = 5$; $A = 0,0614$; $t = 46,9$.

Guſsstahl, angelassen.

$d = 7,669$

P	L'	L	a	a'	q
0		767,63			
5	768,70	767,63	0,482		
10	768,19	767,79	0,521	0,208	
15	768,62	767,96	0,859	0,430	17452
20	768,81	767,90	1,185	0,352	16877
30	769,12	767,90	1,589	0,352	18882
40	769,64	767,97	2,136	0,443	18729
50	770,91	768,74	2,826	1,446	17693

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 17926$
Schallgeschwindigkeit $= 14,412$

$P_l < 10$.

Digitized by Google

Stahldraht, angelassen.

$d = 7{,}573$

P	L'	L	a	a'	q
5		704,36			
10	704,70	704,46	0,340	0,142	
15	704,79	704,48	0,440	0,170	
20	705,05	704,46	0,837	0,142	17908
25	705,16	704,48	0,965	0,170	20718
30	705,37	704,51	1,221	0,213	20477
35	705,66	704,55	1,576	0,269	19038
40	720,98	719,90	1,919	21,635	18251

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =19278
Schallgeschwindigkeit =15,040

$P_l < 20$; $A = 0{,}025$; $t = 50{,}9$.

IV. *Versuche bei niedriger Temperatur.*

Obgleich ich die Elasticitätscoëfficienten schon in gewöhnlicher Temperatur bestimmt hatte, so war ich doch genöthigt, sie auch bei denselben Belastungen in niederen Temperaturen zu ermitteln; denn die hier in Betracht kommenden Unterschiede sind nicht groſs, bleiben in der zweiten Decimalstelle. Nun findet man schon Unterschiede gleicher Ordnung, wenn man mit verschiedenen Punkten operirt. Diese vergleichenden Versuche waren um so unerläſslicher als die angewandten Drähte nicht dieselben waren, die vorhin gebraucht wurden.

Digitized by Google

	d bei 10° C.	d b. −15° C.	ε	Temp. C°.	P	L'	L	a	q	Mittel	ρ
Gold	18,889		0,093	10,0	12,0	793,45	792,34	1,401	8566		
						793,48	792,36	1,413	8489	8603	6,362
						796,31	795,23	1,358	8836		
						796,44	795,32	1,408	8521		
		18,896		−15,0		821,01	819,97	1,268	9461		
						831,55	830,49	1,276	9402	9351	6,631
				−13,0	16,0	832,71	831,28	1,741	9189		
Silber	10,458		0,338	10,0	14,5	733,93	732,49	1,966	7376		
						733,98	732,55	1,952	7428	7411	7,935
						729,31	727,89	1,951	7429		
		10,463		−16,0	15,0	740,75	739,26	2,015	7443		
				−14,5		736,65	735,18	1,999	7502		
				−13,0		794,57	793,11	1,841	8147	7800	8,139
					17,0	753,85	752,18	2,220	7657		
					16,5	786,71	785,14	1,999	8251		
Palladium	10,661		0,147	9,0	12,0	860,20	859,15	1,222	9819		
					15,0	860,58	859,34	1,443	10395	10289	9,261
						860,61	859,40	1,408	10654		
		10,664		−12,0		832,05	830,81	1,492	10050		
						826,95	825,83	1,356	11060	10659	9,424
				−11,0		827,98	826,84	1,380	10866		
Platin	20,513		0,323	8,0	15,0	746,51	745,79	0,965	15537	15647	8,233
					10,0	746,26		0,630	15867		
		20,518		−17,0	15,0	749,87	749,17	0,934	16053		
				−13,0		735,24	734,57	0,912	16446	16224	8,382
						735,23		0,898	16695		
				−12,0	20,0	739,04	738,10	1,274	15704		

Kupfer	8,906		0,870	10,0	20,0	808,44	807,17	1,573	12711		
					35,0		806,06	2,953	11854	12200	11,042
					15,0	802,44	801,44	1,246	12036		
		8,910		— 8,9		807,02	806,14	1,090	13756		
				— 20	12,7	830,02	829,23	0,953	13330		
					8,3	829,77		0,652	12721	13052	11,399
				— 13	15,0	829,63	828,65	1,184	12667		
						802,25	801,31	1,173	12787		
Eisendraht . . . . (gewöhnlicher)	7,553		0,407	10	30,0	866,62	865,21	1,630	18409		
						838,43	837,09	1,601	18740		
						838,42	837,03	1,661	18066	18613	14,798
					40,0	877,03	875,16	2,137	18720		
						876,99		2,091	19129		
		7,555		— 10	30,0	827,48	826,06	1,719	17452		
					40,0	827,97	826,15	2,203	18156		
				— 14	30,0	825,67	824,20	1,784	16820	17743	14,446
					40,0	826,15		2,336	16910		
				— 10	30,0	846,77	845,39	1,632	18378		
Stahldraht . . . . (blau angelassen)	7,420		0,302	— 10	25,0	840,46	839,33	1,346	18569		
					22,5	857,46	856,36	1,285	17517	18045	14,700
					35,0	841,11	839,25	2,216	18050		
		7,422		— 11	32,5	839,04	837,50	1,839	17674		
					35,0	839,42	837,71	2,042	17140	17690	14,553
				— 10	22,5	839,13	838,11	1,217	18487		
						839,19		1,289	17461		
Messing . . . . . . (Berliner)	8,427		0,213	— 9	10,0	849,68	848,70	1,155	8660		
				— 12	25,0	817,41	815,25	2,650	9433	9005	9,744
					15,0	816,31	814,94	1,681	8923		
		8,431		— 10	21,0	797,54	795,92	2,035	10317		
						803,57	801,72	2,307	9101		
				— 6	20,0	797,92	796,15	2,223	8996	9782	10,254
				— 12	10,0	796,66	795,88	0,980	10204		
					15,0	797,12	795,96	1,457	10292		

Digitized by Google

Ich bemerke noch, daſs die Wirkung der Kälte nicht immer vorübergehend zu seyn scheint; die Zunahme der Dichte scheint noch theilweise nach der Rückkehr des Metalls zu der früheren Temperatur zu verbleiben; wenigstens geht dies aus einigen Versuchen hervor, die ich zu dem Ende gemacht habe.

Ein Kupferdraht von der Dichte 8,902 bei 7° C. wurde bei gewöhnlicher Temperatur ausgezogen; nachdem er durch vier Löcher des Zieheisens gezogen war, besaſs er die Dichte 8,906; allein als das Ausziehen in einem Kältegemisch geschah, so daſs das Zieheisen und der Draht beständig in einer Temperatur von —15° C. erhalten wurden, hatte der Draht, nachdem er durch dieselbe Zahl von Löchern gegangen war, die Dichte 8,925 bis 7° erlangt. Die bloſse Erkaltung bis —20° C. reichte hin sie von 8,906 auf 8,927 zu bringen. Dasselbe habe ich beim Platin beobachtet. Es scheint also, daſs die niederen Temperaturen eine bleibende Wirkung, analog der des Anlassens, ausüben. Indeſs müſste man bei noch weit niedrigeren Temperaturen operiren, ehe man diese Thatsache auf eine entschiedene und allgemeine Weise aussprechen könnte.

IX. — Die Resultate aller dieser Versuche lassen sich in folgenden Tafeln zusammenfassen.

I. Specifische Gewichte bei 12 bis 13° C.

	Gegossen	Gehämmert und ausgezogen		Gehämmert, ausgezogen u. angelassen	
		vor der Verlängerung	nach dem Reiſsen	vor der Verlängerung	nach dem Reiſsen
Blei	11,215	11,169	11,170	11,232	11,292
Zinn	7,285	7,313	7,266	7,290	7,292
Kadmium	8,605	8,665	8,553	8,520	8,541
Silber	10,366	10,369	10,320	10,304	10,193
Gold	19,407	18,514	18,858	18,035	19,186
Zink, käufl.	6,938	7,008	6,917	7,060	

Digitized by Google

	Gegossen	Gehämmert und ausgezogen		Gehämmert, ausgezogen u. angelassen	
		vor der Verlängerung	nach dem Reiſsen	vor der Verlängerung	nach dem Reiſsen
Zink, destill. . . .	7,134[1]				
Palladium		11,359		11,225	
Platin		21,166[2]	20,987	20,753[3]	21,029
Kupfer	8,729	8,933	8,862	8,936	8,890
Eisen (von Berry)		7,748	7,740	7,757	7,751
Eisendraht, gew. .		7,553			
Guſsstahl		7,717		7,719	7,709
Stahldraht, engl. .		7,718		7,622	7,710
Stahldraht, blau angelassen				7,420	
Wismuth	9,882				
Antimon	6,641				

Vergleicht man die erste Spalte mit der zweiten, so sieht man, daſs das Ausziehen nicht gleiche Wirkung hat auf alle Metalle; die einen verdichten sich, die anderen dehnen sich aus. In der That besteht das Drahtziehen aus zwei verschiedenen Vorgängen; der eine strebt die Dichtigkeit vermöge des Ziehens zu verringern, der andere dagegen durch seitliche Zusammendrückung zu vergröſsern; der letztere waltet vor bei den meisten Metallen.

Das Anlassen führt die Drähte so ziemlich auf dieselbe Dichte zurück, die sie im gegossenen Zustand hatten; es bewirkt eine Ausdehnung; Blei, Zink, Eisen und Stahl in dicken Drähten machen eine Ausnahme; sie erleiden eine geringe Verdichtung.

Die dritte Spalte zeigt, daſs das Ziehen ohne seitlichen Zusammendruck bei den ausgezogenen Metallen eine Verringerung der Dichte bewirkt. Das findet aber nicht statt bei den angelassenen Metallen, die sich meistens durch die Verlängerung verdichten.

1) bis 7,146.
2) bis 21,275.
3) bis 21,207.

Digitized by Google

II. Elasticitätsgränzen und Verlängerungsmaxima.

	Elasticitätsgränzen			Verlängerungsmaxima		
	bei 15 bis 20° C.	bei 100° C.	bei 200° C.	bei 15 bis 20°	bei 100°	bei 200°
Blei, gegossen	< 0,05			0,040		
ausgezogen. . .	0,25	< 0,1		0,243		
angelassen . . .	0,20	< 0,1		0,614	0,085	
Zinn, ausgezogen . .	0,4; 0,5			0,430		
angelassen. . .	0,2	< 0,1		0,230	0,302	
Kadmium, ausgezog.	0,12			0,446		
angel. . .	< 0,1	< 0,1		0,412	0,022	
Gold, ausgezogen . .	13,5			0,0008		
angelassen . . .	3	6	< 4	0,046	0,068	0,150
Silber, ausgezogen .	11,0; 11,5			0,0045		
angelassen . .	2,5; 3,0	< 3	< 4	0,168	0,017	0,176
Zink, ausgezogen . .	0,75			0,505		
angelassen. . .	1,0	< 1	< 1	0,270	0,152	0,154
gegossen . . .	3,0; 3,5			0,0015		
Palladium, ausgezog.	18			0,0002		
angel. . .	< 5			0,205		
Kupfer, ausgezogen .	12			0,003		
angelassen. .	< 3	< 2	< 1	0,220	0,250	0,250
Platin, ausgezogen .	26			0,0009		
angelassen . .	14,5	13	11,12	0,0023	0,003	0,005
Eisen, ausgezogen . .	32,5			0,026		
angelassen . .	< 5	< 5	< 5	0,109	0,025	0,061
Guſsstahl, ausgezogen	55,60			0,003		
angelassen	< 5	< 10	< 10	0,011		
Stahldraht, ausgezog.	42,5; 45			0,0006		
angel. . .	15	10	< 10	0,0044	0,0025	0,025

Nach dem Beispiel mehrer Physiker nehme ich als Elasticitätsgränze das Gewicht, welches eine bleibende Verlängerung von 0,00005 auf die Längeneinheit bewirkt. Diese Bestimmung ist willkührlich, denn man kann so kleine bleibende Verlängerungen finden als das Instrument zu messen vermag. Ich habe besonders beim Silber, Gold, Kupfer und Platin mit vieler Langsamkeit operirt, und nie das Gewicht auf einmal anders als um sehr kleine Gröſsen geändert. Dann habe ich weder Sprünge noch Rucke bei den Verlängerungen gefunden; vielmehr wachsen sie von da an, wo sie meſsbar geworden sind, auf eine stetige Weise, wovon man sich überzeugen kann, wenn man die Spalten *a* meiner Versuche durchläuft. Die bleiben-

Digitized by Google

den Verlängerungen sind überdieſs unbekannte Functionen der Zeit, während welcher das Gewicht wirkt; ein Gewicht, das, wenn es kurze Zeit wirkt, keine meſsbare bleibende Verlängerung erzeugt, kann es, wenn seine Wirkung länger anhält. Nicht unwahrscheinlich ist es, daſs dasselbe auch bei Verlängerungen kleiner als 0,00001 der Längeneinheit stattfinde, obwohl unsere Instrumente es nicht zu messen vermögen. Man kann also sagen, daſs die Zahlenausdrücke für die Elasticitätsgränze in dem Maaſse kleiner werden müssen als die Meſswerkzeuge sich vervollkommnen und als man die Gewichte längere Zeit wirken läſst.[1])

Uebrigens sieht man, daſs das Anlassen die Elasticitätsgränzen sehr bedeutend verringert, ohne daſs zwischen der Elasticitätsgränze des angelassenen Metalls und der des nicht angelassenen eine constante Relation stattfinde. Die Elasticitätsgränze der angelassenen Metalle ändert sich durch einer Temperaturerhöhung bis 200° C. nicht merklich.

III. Widerstände beim Reiſsen, bei 15 bis 20° C.

	langsames Reiſsen	plötzliches Reiſsen	bei 100° C.	bei 200° C.
Blei, gegossen	1,25	2,21		
ausgezogen	2,07	2,36		
angelassen	1,80	2,04	0,54	
Zinn, gegossen	3,40	4,16		
ausgezogen	2,45	2,94; 3,00		
angelassen	1,70	3,57; 3,62	0,85	
Kadmium, ausgezogen	2,24			
angelassen		4,81	2,60	
Gold, ausgezogen	27,00	26,6; 28,4		
angelassen	10,08	11,0; 11,1	12,60	12,06
Silber, ausgezogen	29,00	29,6		
angelassen	16,02	16,3; 16,5	14,00	16,00

1) Es möchte hier auch wohl an W. Weber's Bemerkung zu erinnern seyn, daſs man manche Eigenthümlichkeiten der Elasticität besser und deutlicher an Substanzen, wie Seide, studiren könne, als an den verhältniſsmäſsig wenig elastischen Metallen. S. Ann. Bd. XXXIV S. 247 und Bd. LIV S. 1. P.

Digitized by Google

	langsames	plötzliches	bei 100° C.	bei 200° C.
	Reiſsen			
Zink, destillirt., gegossen	1,50			
gewöhnl., ausgez.	12,80	15,77		
angelassen		14,40	12,20	7,27
Palladium, ausgezogen .		27,20		
angelassen . .	27,40			
Kupfer, ausgezogen . . .	40,30	41,00		
angelassen. . . .	30,54	31,55; 31,68	22,10	
Platin, ausgezogen	34,10	35,0		
angelassen	23,50	25,8; 27,7	22,60	19,70
Eisen, ausgezogen	61,10	62,5; 65,1		
angelassen.	46,88	50,25	51,10	46,90
Guſsstahl, ausgezogen . .		83,80		
angelassen . .	65,70			
Stahldraht, ausgezogen .	70,00	85,9; 99,1		
angelassen . .	40,00	53,90	59,10	50,90
Antimon, gegossen		0,65; 0,70		
Wismuth, gegossen . . .		0,97		

Man sieht, daſs das Anlassen den Widerstand beim Reiſsen sehr bedeutend verringert, während es zugleich die Verlängerungsmaxima vergröſsert. Eine Temperaturerhöhung bis 200° C. verändert diese Gröſsen nicht merklich.

Die Werthe dieser Gröſsen beruhen so zu sagen auf der Nichthomogenität der dem Versuch unterworfenen Metalle, denn ein vollkommen homogener Draht muſs sich bis ins Unendliche ausfädeln, oder vielmehr, wenn die Theilchen einen solchen Abstand erreicht haben, daſs, wenn man sie noch weiter trennt, die Resultante der Molecularkräfte kleiner wird als die angewandten Belastungen, darf er nicht an Einer Stelle reiſsen, sondern muſs gänzlich zu Pulver zerfallen. Diese Angaben können für die Praxis einen groſsen Werth haben, sind aber nicht geeignet uns über die Natur der Molecularkräfte aufzuklären.

Digitized by Google

IV. Elasticitätscoëfficienten und Schallgeschwindigkeiten bei 15 bis 20° C.

	Elasticitätscoëfficienten nach			Schallgeschwindigkeiten nach			Specif. Gewicht
	Längs- schwingungen	Quer- schwingungen	Verlängerungen	Längs- schwingungen	Quer- schwingungen	Verlängerungen	
Blei, gegossen	1993,4	1985,2	1775,0	3,974	3,966	3,561	11,215
ausgezogen	2278,0	1781,2	1803,0	4,257	3,764	3,787	11,169
angelassen	2146,0	1854,2	1727,5	4,120	3,841	3,697	11,232
gerissen		1788,6			3,749		11,308
Zinn, ausgezogen	4006,0	3839,7		7,480	6,829		7,313
angelassen	4418,0	3703,4		7,338	6,719		7,290
gewöhnliches, gegossen	4643,0	4172,0		7,465	7,076		7,404
ausgezogen	4564,0	4148,0		7,401	7,086		7,342
gerissen		3918,0			6,909		7,293
Kadmium, ausgezogen	6090,3	5424,0		7,903	7,456		8,665
angelassen	4241,0	5313,0		6,651	7,444		8,520
gerissen		4084,0			6,518		8,541
Gold, ausgezogen	8599,0	8644,6	8131,5	6,424	6,441	6,247	18,514
angelassen	6372,0	5989,0	5584,6	5,603	5,432	5,245	18,035
gerissen		5833,0			5,212		19,077
Silber, ausgezogen	7576,0	7820,4	7357,7	8,057	8,186	7,940	10,369
angelassen	7242,0	7533,0	7140,5	7,903	8,060	7,847	10,304
gerissen		7648,0			8,115		10,320
Zink, destillirtes, gegossen in Sand	7536,0	6778,0		9,683	9,188		7,134
in einer Form	9338,0	9423,0	9021,0	10,774	10,823	10,591	7,146
gewöhnliches, ausgezogen	9555,0	8793,6	8734,5	11,007	10,560	10,524	7,008
angelassen	9292,0	9641,0		10,814	11,016		7,060

Digitized by Google

	Elasticitätscoëfficienten nach			Schallgeschwindigkeiten nach			Specif. Gewicht
	Längs-schwingungen	Quer-schwingungen	Verlängerungen	Längs-schwingungen	Quer-schwingungen	Verlängerungen	
Zink, gerissen		9324,0			10,822		6,997
Palladium, ausgezogen		12395	11759		10,066	9,804	11,350
angelassen		11281	9789,0		9,450	8,803	11,225
Kupfer, ausgezogen	12536	12513	12449	11,167	11,157	11,128	8,933
angelassen	12540	11833	10519	11,167	10,847	10,703	8,936
gerissen		12040			10,970		8,890
Platindraht, dünner	16176	15928		8,241	8,177		21,166
angelassen	14292	14373		7,823	7,845		20,753
mittlerer	17165	17153	17044	8,467	8,456	8,437	21,275
angelassen	15611	15355	15518	8,111	8,045	8,087	21,083
dicker	16159	15814		8,218	6,130		21,259
angelassen	15560	15683		8,074	8,106		21,207
gerissen		16748			8,421		20,987
Eisen (Berry) ausgezogen	19903	18547	20869	15,108	14,584	15,472	7,748
angelassen	19925	19410	20794	15,108	14,913	15,433	7,757
gerissen		17538			14,179		7,751
Eisendraht, gewöhnl.			18613			14,798	7,553
Guſsstahl, ausgezogen	19823	18247	19549	15,108	14,495	15,003	7,717
angelassen	19828	18811	19561	15,108	14,716	15,006	7,919
gerissen		16728			13,965		7,710
Stahldraht, engl., ausgezogen	19445	20714	18809	14,961	15,442	14,716	7,718
angelassen	19200	21070	17278	14,961	14,673	14,193	7,622
gerissen		16728			13,965		7,710
Eisendraht, gewöhnl., blau angelass.			18045			14,700	7,420

Digitized by Google

V. Elasticitätscoëfficienten und Schallgeschwindigkeiten der angelassenen Metalle bei 10 bis 15, bei 100 bis 200° C.

	Bei 10 bis 15° C.			Bei 100° C.			Bei 200° C.		
	Dichte	Elasticitäts-coëfficienten	Schallge-schwind.	Dichte berechnet	Elasticitäts-coëfficienten	Schallge-schwind.	Dichte berechnet	Elasticitäts-coëfficienten	Schallge-schwind.
Blei	11,232	1727	3,697	11,075	1630	3,616			
Gold	18,035	5584	5,245	17,953	5408	5,174	17,873	5482	5,221
Silber	10,304	7140	7,847	10,245	7274	7,943	10,187	6374	7,456
Kupfer	8,936	10519	10,703	8,891	9827	9,910	8,840	7862	8,890
Platin	21,083	15518	8,087	21,027	14178	7,740	20,969	12964	7,412
Eisen	7,757	20794	15,433	7,729	21877	15,859	7,696	17700	14,295
Eisendraht, gewöhnl.	7,553	18613	14,798	7,543	19995	15,347			
Gufsstahl	7,719	19561	15,006	7,694	19014	14,819	7,669	17926	14,412
Stahldraht, engl.	7,622	17278	14,193	7,597	21292	15,781	7,573	19278	15,040
Stahldraht, blau angel.	7,420	18045	14,700	7,410	18977	15,085			

VI. Elasticitätscoëfficienten und Schallgeschwindigkeiten der nichtangelassenen Metalle bei 10 und —15° C.

	Bei +10° C.			Bei —15° C.		
	Dichte	Elasticitäts-coëfficienten	Schallge-schwind.	Dichte berechnet	Elasticitäts-coëfficienten	Schallge-schwind.
Gold	18,889	8603	6,362	18,896	9351	6,631
Silber	10,458	7411	7,935	16,463	7800	8,139
Palladium	10,661	10289	9,261	10,664	10659	9,424
Platin	20,513	15647	8,233	20,518	16224	8,382
Kupfer	8,906	12200	11,042	8,910	13052	11,399
Eisendraht, gewöhnl	7,553	18613	14,798	7,555	17743	14,446
Stahl, blau angelassen	7,420	18045	14,700	7,422	17690	14,553
Messing	8,247	9005	9,744	8,431	9782	10,154

Digitized by Google

Vergleicht man in Taf. IV die Schallgeschwindigkeiten, die durch Verlängerungen erhalten sind, mit denen, die aus transversalen und longitudinalen Schwingungen hervorgehen, so findet man die letzteren beständig gröſser; bloſs das Eisen macht eine Ausnahme. Diese Verschiedenheit entspringt daraus, daſs bei den longitudinalen und transversalen Schwingungen wirklich Wärme entwickelt, und dadurch in starren, wie in gasförmigen Körpern, die Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird. Der Schall entspringt daher aus Wellen mit Condensation, und man wird das Verhältniſs zwischen der wahren und der aus Verlängerung hergeleiteten Geschwindigkeit benutzen können, um das Verhältniſs der specifischen Wärme unter constantem Druck zu der bei constantem Volum zu finden. Hr. Duhamel hat die genaue Formel gegeben, mittelst deren man dieſs Verhältniſs finden kann. [1])

Ist v' die wahre, mittelst Längsschwingungen gefundene Geschwindigkeit, v die theoretische, und k das Verhältniſs der specifischen Wärme unter constantem Druck zu der bei constantem Volum, so hat man:

$$k = 1{,}8\frac{v'^2}{v^2} - 0{,}8$$

woraus folgende Zahlen hervorgehen:

	k bei 15 bis 20°		k bei 15 bis 20°
Blei, gegossen	1,4417	Kupfer, ausgezogen .	1,0158
ausgezogen . . .	1,2718	angelassen .	1,1595
angelassen . . .	1,4356	Eisen, ausgezogen . .	1,0128
Silber, ausgezogen .	1,0524	angelassen . .	1,0106
angelassen . .	1,0257	Guſsstahl, ausgezogen	1,0252
Gold, ausgezogen . .	1,1035	angelassen	1,0245
angelassen . . .	1,2540	Stahldraht, ausgezog.	1,0605
Zink, destill., gegoss.	1,0628	angelass.	1,2001
gewöhnl. ausgz.	1,1690		

Wie man sieht, ist dieſs Verhältniſs im Allgemeinen gröſser bei den angelassenen Metallen. Der von Herrn

1) *Journ. de l'Ecole Polytechn., Cah. XXV p.* 19.

Digitized by Google

Regnault beobachtete Unterschied in der Wärmecapacität der gehärteten und angelassenen Metalle entspringt vielleicht aus einer Aenderung in diesem Verhältniſs.

Man findet die Wärmecapacitäten bei constantem Volum, wenn man die bekannten Capacitäten unter constantem Druck dividirt durch vorstehende Zahlen. Allein die Producte, welche man durch Multiplication derselben mit den Atomgewichten erhält, zeigen beträchtliche Unterschiede. Es scheint also, als seyen die durch unsere Methoden erhaltenen Geschwindigkeiten noch nicht genau genug um zu dieser Berichtigung dienen zu können. Man müſste zu diesem Ende mit so langen Stäben experimentiren, daſs man ihre longitudinalen Schwingungen leicht zählen könnte.

Der Elasticitätscoëfficient ist ein Element, welches den Rechnungen als Grundlage dienen kann. Man erhält ihn durch genaue, mannigfache und fast instantane Versuche. Zwar muſs die unvollkommene Homogenität der Metalle einen gewissen Einfluſs auf den Werth desselben ausüben; allein wenn auch diese Fehlerquelle von groſser Wichtigkeit war, so konnte sie doch die nach drei verschiedenen Methoden erhaltenen Resultate nicht um dieselbe Gröſse und in demselben Sinne modificiren. Die Uebereinstimmung dieser Zahlen beweiſst also, daſs man sich derselben als eines ersten Grades von Annäherung wird bedienen können, wenn man die kleinen Unterschiede der Elasticität und Dichtigkeit vernachlässigt, die im Innern selbst nicht krystallisirter Substanzen vorkommen.

Betreffend den Einfluſs der Wärme, so zeigen die Tafeln V und VI, daſs die Elasticitätscoëfficienten in stetiger Weise abnehmen von — 15° C. bis + 200° C. Indeſs verhalten sich Eisen und Stahl ganz anders. Ihre Elasticität nimmt zu, statt ab, von — 15° bis + 100° C.; allein bei 200° ist sie nicht bloſs geringer als bei 100°, sondern bisweilen gar geringer als bei gewöhnlicher Tem-

Digitized by Google

peratur. Gehört nun dieser unregelmäſsige Gang dem Metalle selbst an, oder muſs man ihn den fremdartigen Beimischungen desselben, z. B. der Kohle, den Silicaten u. s. w. zuschreiben? Daſs läſst sich für jetzt nicht entscheiden.

X. — Mehre Mathematiker haben für den Elasticitätscoëfficienten Ausdrücke gefunden, in welche die Molecularkräfte als unbekannte Functionen des Wirkungskreises der Molecüle eintreten. Man betrachtet dabei die Körper als Haufwerke von Theilchen, die in Bezug auf ihre Zwischenräume sehr klein sind, verknüpft mit einander durch eine Anziehungskraft und gehalten von einander durch die Abstoſsung der Wärme oder irgend eine andere Abstoſsungskraft. Die Resultante dieser beiden Kräfte ist eine unbekannte Function des Abstandes, die sehr rasch abnimmt und, so wie der Abstand eine merkliche Gröſse erlangt, unendlich klein wird. Man nimmt überdieſs an, daſs der Radius des Wirkungskreises ein sehr groſses Multiplum von dem mittleren Abstand der Molecüle ist. Von diesen Voraussetzungen ausgehend, ward Poisson zu der Formel geführt:

$$\frac{N}{\delta}=\frac{2\pi}{3}\sum_{r=a}^{r=\infty}\frac{r^5}{a^5}\,\frac{d\frac{1}{r}fr}{dr}$$

In dieser Formel ist N eine constante, auf der Oberfläche des Körpers lothrechte Kraft, δ die von ihr bewirkte proportionale lineare Dilatation oder Contraction, r der Wirkungsradius eines Molecüls, α der mittlere Abstand zweier benachbarten Molecüle und fr die Function, durch welche man das Gesetz der molecularen Resultante ausgedrückt annimmt.

Bei den gewöhnlichen Versuchen wirkt die Kraft nur an den beiden Enden eines Prisma, und wenn q das Verhältniſs der Kraft zu der erzeugten linearen Verlängerung oder Verkürzung genannt wird, ist dasselbe die Hälfte des vorstehenden. Man hat also:

$q=$

Digitized by Google

$$q=\frac{\pi}{3}\sum_{r=a}^{r=\infty}\frac{r^3}{a^3}\,\frac{d\frac{1}{r}fr}{dr}$$

worin q der vom Versuch gegebene Elasticitätscoëfficient ist.

Um den Werth von a für jedes Metall zu finden, wollen wir annehmen, daſs die Gewichte der Molecüle der chemisch einfachen Körper ausgedrückt werden durch deren Atomgewichte. Man weiſs, wie wahrscheinlich diese Hypothese geworden ist durch das Dulong-Petit'sche Gesetz der specifischen Wärmen und durch die Arbeiten des Hrn. Regnault. Seitdem haben die HH. Avogadro und Baudrimont zu beweisen gesucht, daſs die aus den specifischen Wärmen abgeleiteten Aequivalente die wahren Ausdrücke für das Gewicht der Molecüle seyen [1]. Sei S das specifische Gewicht eines einfachen Körpers, A das Gewicht eines seiner Molecüle, a der mittlere Abstand zwischen denselben, so wird man haben

$$a=\left(\frac{S}{A}\right)^{-\frac{1}{3}}$$

Die folgende Tafel enthält die Metalle geordnet nach dem Werth von a; für q habe ich den Werth genommen, der sich aus der Verlängerung ergiebt. Im Fall, wo man den Coëfficienten nicht durch Verlängerung bestimmen kann, wie beim Kadmium und Zinn und überhaupt bei allen Metallen nach dem Reiſsen, bediente ich mich des aus den Querschwingungen hervorgehenden Coëfficienten. Diese Zahlen, obwohl wegen der entwickelten Wärme etwas zu groſs, können doch annähernd zu dieser Rechnung benutzt werden.

1) Bei den Metallen, mit denen ich arbeitete, fallen diese Aequivalente mit den chemischen Aequivalenten zusammen, ausgenommen beim Silber, für dessen Atom ich übereinstimmend mit den Untersuchungen des Hrn. Regnault, die Zahl 675,803 angenommen hatte. Ueberdieſs habe ich für Stahl und Eisen ein gleiches Atomgewicht angenommen, und den chemischen Unterschied beider vernachlässigt.

Digitized by Google

	S	A	$log\ \alpha$	q	$log\ q\alpha^7$	Log. des Mittelwerths v. $q\alpha^7$
Blei, gegossen	11,215	1294,498	0,684733	1775	8,04233	
ausgezogen	11,169		0,688030	1803	8,07221	8,05469
angelassen	11,232		0,687213	1727	8,04778	
gerissen	11,038		0,686240	1788	8,05605	
Zinn, rein	7,313	735,294	0,667453	3839	8,25637	
angelassen	7,290		0,667910	3703	8,24397	
gewöhnl., gegossen	7,404		0,665663	4172	8,27998	8,26715
ausgez. .	7,342		0,666883	4148	8,28602	
gerissen	7,293		0,667850	3918	8,26801	
Kadmium, ausgezogen .	8,665	696,770	0,635063	5424	8,17976	
angelassen . .	8,520		0,637507	5313	8,18789	8,14944
gerissen . .	8,541		0,637150	4084	8,07114	
Gold, ausgezogen	18,514	1243,013	0,608990	8131	8,17307	
angelassen	18,035		0,612783	5584	8,03643	8,07533
gerissen	19,077		0,604320	5833	7,99613	
Silber, ausgezogen . . .	10,369	675,803	0,600783	7357	8,07218	
angelassen	10,304		0,601693	7140	8,06555	8,07737
gerissen	10,320		0,601470	7648	8,09384	
Zink, rein, gegossen . .	7,146	403,226	0,583830	9021	8,04206	
gemein. ausgezog.	7,008		0,586653	8734	8,04778	8,06002
angelassen	7,060		0,586880	9641	8,09228	
Palladium, ausgezogen .	11,539	665,900	0,58936	11759	8,19589	8,16337
angelassen. .	11,225		0,59107	9789	8,12823	
Platin, ausgezogen . . .	21,259	1233,499	0,587867	15814	8,31411	
angelassen	21,207		0,588220	15683	8,31297	
ausgezogen . . .	21,275		0,587757	17044	8,34587	
angelassen	21,083		0,589070	15518	8,31433	8,31789
ausgezogen . . .	21,166		0,588500	15928	8,32167	
angelassen	20,753		0,591353	14373	8,29702	
gerissen	20,987		0,589730	16748	8,35207	
Kupfer, ausgezogen . . .	8,933	395,695	0,548790	12450	7,93670	
angelassen . . .	8,936		0,548743	10519	7,86318	7,91020
gerissen.	8,890		0,549490	12040	7,92706	
Eisen, ausgezogen . . .	7,748	339,205	0,547090	20869	8,14913	
angelassen	7,757		0,546923	20794	8,14639	
gerissen	7,751		0,547035	17538	8,07322	
Eisendraht, gemein. . . .	7,553		0,550780	18613	8,12528	
Guſsstahl, ausgezogen .	7,717		0,547670	19549	8,12482	8,11330
angelassen . .	7,719		0,547633	19561	8,12482	
Stahldraht, ausgezogen .	7,718		0,547653	18809	8,10794	
angelassen .	7,622		0,549463	17278	0,08373	
gerissen . . .	7,710		0,547805	16728	8,05808	
Stahldraht, blau angelass.	7,420		0,553353	18045	8,12981	

Man sieht zunächst, daſs für ein selbes Metall, alle Umstände, welche die Werthe von α verringern, die von q vergröſsern, und daſs überdieſs die Metalle in Bezug auf α und

auf q eine umgekehrte Ordnung befolgen, d. h. daſs die Elasticitätscoëfficienten der verschiedenen Metalle desto gröſser sind, als die Molecüle einander näher liegen. Bloſs das Platin macht Ausnahme; nach seinem Werthe von α müſste es einen kleinern Elasticitätscoëfficienten haben als Kupfer; diese Anomalie erklärt sich vielleicht durch seine gröſsere Homogenität, erzeugt durch die mechanische Behandlung, der man es, um es compact zu machen, unterworfen hat.

Die sechste Spalte enthält die Werthe von $\log q\alpha^7$; ich habe mich durch Probiren überzeugt, daſs dieſs Product für ein und dasselbe Metall fast constant ist. Die letzte Spalte enthält endlich den Logarithmen des Mittels der Werthe von $q\alpha^7$ für jedes Metall.

Dieses Mittel ist noch beinahe dasselbe für Blei, Kadmium, Silber, Gold, Zink, Palladium, Eisen und Stahl; aber sein Werth ist kleiner für Kupfer und gröſser für Zinn und Platin.

Wäre der Werth von $q\alpha^7$ nahezu constant für alle Metalle, so würde man im Allgemeinen haben

$$C\alpha^{-2} = \frac{\pi}{3}\sum_{r=\alpha}^{r=\infty} r^5 \frac{d\frac{1}{r}fr}{dr}$$

was, wenn man mit C alle Constanten zusammenfaſst, zu der Function $fr = r^{-5}$ führen würde.

Allein die Ergebnisse der Erfahrung erlauben nicht, diesen Schluſs zu ziehen, denn man wird sogleich durch die bei höherer Temperatur angestellten Versuche ersehen, daſs die resultirende Molecularfunction auch die Temperatur enthalten muſs.

Man ist also nur zum Schluſs berechtigt, daſs die Function fr wirklich, wie man es voraussetzt, in den Rechnungen weit stärker abnimmt, als nach dem umgekehrten Verhältniſs der quadrirten Abstände, und daſs sie für gewöhnliche Temperaturen in einem Verhältniſs abnimmt, das

Digitized by Google

wenig von dem umgekehrten der fünften Potenz der Abstände abweicht.

Untersuchen wir jetzt die Resultate der Versuche bei höherer Temperatur:

	Temp.	S	A	$\log \alpha$	q	$\log q \alpha^7$
Blei	100°	11,075	1249,498	0,689256	1630	8,03694
Gold	100	17,953	1243,013	0,613447	5408	8,02717
dito	200	17,873	- -	0,614093	5482	8,03759
Silber	100	10,245	675,803	0,606437	7274	8,10683
dito	200	10,187	- -	0,607257	6374	8,05521
Kupfer	100	8,891	395,695	0,549473	9827	7,83873
dito	200	8,840	- -	0,550307	7862	7,74768
Platin	100	21,027	1234,499	0,589453	14178	8,27779
dito	200	20,969	- -	0,589853	12964	8,24171
Eisen	100	7,729	339,205	0,547449	21877	8,17213
dito	200	7,696	- -	0,548065	17700	8,08443
Guſsstahl	100	7,694	- -	0,548105	19014	8,11580
dito	200	7,669	- -	0,548575	17926	8,09350
Stahldraht . . .	100	7,597	- -	0,549942	21292	8,17781
dito . . .	200	7,573	- -	0,550399	19278	8,13786

Vergleicht man diese Zahlen mit denen der vorhergehenden Tafel, so sieht man, daſs die Elasticität mit zunehmender Temperatur abnimmt, in einem gröſseren Verhältniſs als es vermöge der bloſsen Ausdehnung geschehen müſste. Es sind indeſs Versuche in einem gröſseren Maaſsstabe erforderlich, um die Elasticität der Metalle in Function ihrer Temperatur auszudrücken.

Was die Versuche bei niedern Temperaturen betrifft, so würde es unnütz sein, sie in Rechnung zu ziehen; die Unterschiede in Dichtigkeit und Elasticität sind zu klein, als daſs sie zu irgend einem Resultate führen könnten.

Ich füge noch die Bemerkung hinzu, daſs die Metalle den Schall, was seine Stärke betrifft, desto besser fortpflanzen müssen, als ihre Theilchen einander näher liegen; diese Eigenschaft liefert also ein zweites Mittel unsere Hypothese zu prüfen. Der gänzliche Mangel eines scharfen Mittels zur Messung der Stärke des Schalls verhindert uns aber leider, die Theorie in dieser Beziehung numerisch mit der Erfahrung zu vergleichen. Indeſs hat

Digitized by Google

Perolle annähernde Versuche gemacht; er reiht die Metalle, was ihre Leitungsfähigkeit für den Schall betrifft, in abnehmender Ordnung so aneinander: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei. Man sieht: dieſs ist dieselbe Ordnung, wie die, welche die Metalle hinsichtlich der Nähe ihrer Molecüle befolgen.

Folgerungen.

Unabhängig von jeder Hypothese kann man aus vorstehenden Versuchen folgende Schlüsse ziehen:

1) Der Elasticitätscoëfficient ist nicht constant für ein und dasselbe Metall; alle Umstände, welche die Dichtigkeit erhöhen, machen ihn gröſser, und so umgekehrt.

2) Längs- und Querschwingungen führen beinahe zu einem gleichen Elasticitätscoëfficienten.

3) Schwingungen führen zu einem gröſseren Elasticitätscoëfficienten, als man durch Verlängerung erhält. Dieſs entspringt aus der durch die Wärmeerregung erzeugten Beschleunigung der Bewegung.

4) Demgemäſs rührt der Schall in starren Körpern von Wellen mit Verdichtung her; und mittelst der von Hrn. Duhamel gegebenen Formel kann man sich des Verhältnisses zwischen der theoretischen und der wirklichen Schallgeschwindigkeit bedienen, um das Verhältniſs der specifischen Wärme unter constantem Druck zu der bei constantem Volum zu finden. Dieſs Verhältniſs ist gröſser für die angelassenen Metalle als für die nichtangelassenen.

5) Der Elasticitätscoëfficient nimmt mit steigender Temperatur fortwährend ab, von — 15° C. bis + 200° C., und zwar in einem rascheren Verhältnisse als sich aus der entsprechenden Ausdehnung ergäbe. Dieſs gilt von allen Metallen, mit Ausnahme des Stahls und Eisens. Wenn man für jene die Temperaturen zu Abscissen und die entsprechenden Elasticitätscoëfficienten zu Ordinaten nimmt, so sieht man die Curven, welche den Gang der Elastici-

Digitized by Google

tät in Function der Temperaturen vorstellen, steigen von — 15° C. bis + 100° C., dann, zwischen 100° und 200° sich einbiegen.

6) Die Magnetisirung verändert die Elasticität des Eisens nicht merklich. [1])

7) Die Verlängerung von Stäben und Drähten durch Belastungen verändert die Dichtigkeit derselben nur wenig; es muſs also auch der Elasticitätscoëfficient in den verschiedenen Gleichgewichtslagen nur wenig variiren. Wirklich ist dieſs auch der Fall, so lange die Belastungen nicht derjenigen nahe kommen, welche das Abreiſsen bewirkt. Das Gerstner'sche Gesetz bestätigt sich also bei allen Metallen, die, nachdem sie ihre Elasticitätsgränze überschritten haben, noch beinahe eine Gleichgewichtslage erreichen.

8) Die bleibenden Verlängerungen erfolgen nicht sprung- oder ruckweise, sondern stetig; modificirt man die Belastung und die Dauer ihrer Wirkung zweckmäſsig, so kann man beliebig jede bleibende Veränderung hervorbringen.

9) Eine wahre Elasticitätsgränze giebt es nicht, und wenn man bei den ersten Belastungen keine bleibende Verlängerung beobachtet, so geschieht es nur, weil man sie nicht eine hinlängliche Zeit hat wirken lassen, und weil der Stab, der dem Versuche unterworfen ward, in Bezug auf die Empfindlichkeit des Meſswerkzeuges zu kurz ist.

Die Werthe des Verlängerungsmaximum und der Cohäsion hängen auch viel von der Operationsweise ab; man findet das erste desto gröſser, und die zweite desto geringer, je langsamer man die Belastungen vergröſsert.

Man sieht, wie viel Willkührliches in der Bestim-

1) Anderweitige Versuche, die ich seitdem angestellt, lassen mich glauben, daſs die Magnetisirung bloſs zu schwach war in Bezug auf die Dicke der untersuchten Stäbe, um die Wirkung derselben beobachten zu können.

Digitized by Google

mung der kleinsten und gröſsten bleibenden Verlängerung liegt, und es läſst sich nicht, mit Hrn. Lagerhjelm, auf deren Werthe ein Gesetz begründen.

10) Der Zerreiſsungs-Widerstand nimmt durch das Anlassen bedeutend ab. Eine Erhöhung der Temperatur bis 200° C. verringert die Cohäsion der zuvor angelassenen Metalle nicht bedeutend.

Nimmt man nun an, daſs die Gewichte der Molecüle durch ihre Atomgewichte ausgedrückt werden, und daſs überdieſs die Körper so constituirt seyen, wie die Mathematiker voraussetzen, so sieht man, daſs die Erfahrung übereinstimmt mit den Folgerungen aus dem Ausdruck, welchen Poisson für den Elasticitätscoëfficienten gegeben hat. Diese Formel ist:

$$q=\frac{\pi}{3}\sum_{r=\alpha}^{r=\infty}\frac{\frac{r^5}{\alpha^6}\,d\,\frac{1}{r}fr}{dr}.$$

Nach unserer Hypothese findet man die mittleren Abstände zwischen den Molecülen durch die Formel

$$\alpha=\left(\frac{S}{A}\right)^{-\frac{1}{3}}$$

wenn man bezeichnet: durch S das specifische Gewicht und durch A das Atomgewicht eines Körpers, durch r den gegenseitigen Abstand irgend zweier Molecüle und durch fr die resultirende Function der gegenseitigen Action der molecularen Anziehungskraft und der repulsiven Action der Wärme. Die Folgerungen hieraus sind:

a) q wird gröſser, so wie α abnimmt, und umgekehrt. Man sieht aus Tafel IV, daſs die Condensationen und Dilatationen, welche wir durch mechanische Mittel bewerkstelligen können, zu klein sind, als daſs wir das Verhältniſs zwischen den Aenderungen von α und q mit Sicherheit bestimmen könnten. Indeſs ist das Verhältniſs $q\alpha^7$ sehr nahe constant für ein und dasselbe Metall.

Mit Steigerung der Temperatur nimmt der Coëfficient

Digitized by Google

q so rasch ab, daſs das Product qa^7 immer kleiner wird als bei gewöhnlicher Temperatur. Die Function fr muſs also die Temperatur enthalten.

b) Die verschiedenen Metalle befolgen nicht einerlei Ordnung hinsichtlich der Nähe ihrer Molecüle, der Elasticitätscoëfficienten und ihrer Fähigkeit den Schall zu leiten, was dessen Stärke betrifft (diese Fähigkeit ist durch die Versuche von Perolle nur angenähert bekannt). Bloſs das Platin stellt sich, in Bezug auf den Elasticitätscoëfficienten, zwischen Kupfer und Eisen; während es in Bezug auf gegenseitige Nähe der Molecüle zwischen Zink und Kupfer steht.

c) Das Product aus dem Elasticitätscoëfficienten in die siebente Potenz des mittleren gegenseitigen Abstandes der Molecüle ist gleich für die meisten Metalle. Diese Uebereinstimmung, so weit man es von diesem Annäherungsgrad verlangen kann, ist vollständig für Blei, Kadmium, Gold, Silber, Zink, Palladium und Eisen; allein das Kupfer giebt ein etwas geringeres, und das Zinn und das Platin ein beträchtlich gröſseres Product als die übrigen Metalle.

Wäre diese Uebereinstimmung allgemein, so würde man daraus schlieſsen müssen, daſs die Resultante der molecularen Anziehung und der thermischen Abstoſsung abnehme umgekehrt wie die fünfte Potenz der Abstände.

Allein diese Uebereinstimmung bestätigt sich nicht bei allen Metallen; die Versuche beweisen bloſs, daſs diese Resultante, wie man es in der Rechnung voraussetzt, in der That viel rascher abnimmt als nach dem umgekehrten Verhältniſs des Quadrats der Entfernungen, daſs sie die Temperatur enthält, und daſs sie von der Masse der Molecüle und deren mittleren Abstand unabhängig zu seyn scheint.

Digitized by Google

II. *Untersuchungen über die Elasticität; von Herrn G. Wertheim.*

Zweite Abhandlung [1]).

Von der Elasticität und Cohäsion der Legirungen.

Ungeachtet ihrer häufigen Anwendung in den Künsten, sind die Legirungen noch nicht in Bezug auf ihre Elasticität untersucht. Nur zwei derselben, das Messing und das Glockenmetall, sind dem Versuch unterworfen, das erstere von Tredgold, Ardant und Savart, das letztere von Tredgold und Bevan.

Die Cohäsion der Legirungen dagegen ist der Gegenstand vieler experimentellen Untersuchungen gewesen, vor allem von Musschenbroek und Karmarsch; allein diese Gattung von Versuchen giebt bekanntlich keine so constante Resultate, dafs man daraus irgend ein Gesetz herleiten könnte. Die Beziehung zwischen den mechanischen Eigenschaften der Legirungen und der chemischen Zusammensetzung derselben ist also ganz unbekannt. Es ist die Untersuchung dieser Beziehung, die mich in gegenwärtiger Abhandlung beschäftigen wird.

In meiner ersten Abhandlung habe ich die Elasticitätscoëfficienten, Schallgeschwindigkeiten, Elasticitätsgränzen, Verlängerungsmaxima und Cohäsionskräfte der einfachen Metalle untersucht und mich bemüht, zwischen den Elasticitätscoëfficienten und den Abständen der Molecüle eine allgemeine Beziehung aufzustellen. Dieselben Versuche nach denselben Methoden habe ich nun bei den Legirungen wiederholt; nur habe ich, da ich mich bereits versichert hatte, dafs longitudinale und transversale Schwin-

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III T. XII p.* 581.

Digitized by Google

gungen einen gleichen Elasticitätscoëfficienten geben, diejenige dieser beiden Schwingungsarten angewandt, die sich mir für den zum Versuche genommenen Stab am besten zu eignen schien.

Ich bereitete die Legirungen theils aus den reinen Metallen, die zu meinen ersten Versuchen dienten, theils mit den reinsten Metallen, die im Handel vorkommen. Diese Metalle, zuvörderst in Pulverform gemischt, wurden während ihrer Schmelzung mehrmals umgerührt und dann in einer guſseisernen Form von 50 Cent. Länge ausgegossen. Diese Form muſste zuweilen bis zum Rothglühen erhitzt werden, um Stäbe von hinreichender Länge und nur 5 Millimeter Durchmesser, wie sie zu den Versuchen erforderlich waren, gieſsen zu können. Die nicht geschmeidigen Legirungen wurden dann mittelst der Feile genau ajustirt, um dem transversalen Schwingen und dem Reiſsen unterworfen zu werden. Die dehnbaren Legirungen wurden im Drahteisen bis zur Länge von 1 Meter ausgezogen und dann mittelst Längsschwingungen und mittelst der bis zum Abreiſsen fortgesetzten Dehnung untersucht. Elasticitätscoëfficient und Schallgeschwindigkeit wurden demnach bei jeder Legirung wenigstens mittelst einer Methode gefunden und bei den meisten von ihnen auch Elasticitätsgränze, Verlängerungsmaximum und Zähigkeit untersucht.

Die Dichtigkeit nahm ich zuvörderst bei jeder Legirung in dem Zustand, in welchem sie zur Bestimmung des Elasticitätscoëfficienten diente. Ich war genöthigt, alle Legirungen chemisch zu analysiren, obwohl ich sie alle aus ihren Bestandtheilen nach dem Verhältnisse der Atomgewichte oder deren einfachsten Multiplen zusammengeschmolzen hatte; denn dieſs Verhältniſs wurde trotz aller Vorsichtsmaaſsregeln gestört durch ungleiche Oxydation oder theilweise Verflüchtigung eines der Bestandtheile: oft war ich genöthigt, die rationelle Formel nach dem Resultat der Analyse abzuändern. Oft wiederholte ich die Analyse mit beiden Enden eines und desselben Stabes, um

Digitized by Google

mich von der Gleichförmigkeit der Legirung zu überzeugen. Dieſs ist besonders nöthig bei gegossenen Stäben, die aus Metallen von sehr verschiedenem specifischem Gewicht zusammengesetzt sind. In der That war ich genöthigt, eine ziemlich groſse Zahl von Stäben fortzuwerfen, da sie an beiden Enden zu groſse Unterschiede in ihrer Zusammensetzung darboten. Diese Nicht-Homogenität verräth sich übrigens bei den meisten von ihnen schon durch Ungleichheit der Farbe und Schmiedbarkeit.

Anlangend die Legirungen, in welche kostbare Metalle eintreten, so konnte ich sie nur selten in einfachen atomistischen Verhältnissen anwenden; denn da ich sie nicht in so groſsen Massen darzustellen vermochte, um sie gieſsen zu können, so muſste ich vor allem darauf sehen, eine geschmeidige Legirung zu erhalten. Auſser den Legirungen von theoretischem Interesse untersuchte ich die vorzüglichsten der in den Künsten angewandten, wie Messing, Tombak, Tamtam, gehärtet und nicht, Packfong, Schriftmetall u. s. w. Folgendes sind nun die Resultate dieser Versuche.

Die Bezeichnungen haben dieselbe Bedeutung wie in der ersten Abhandlung.

A. Binäre Legirungen.

I. Blei und Zinn.

1) $Pb_{16}\ Sn_{13}$.

	berechnet	zerlegt
Blei	68,42	68,50
Zinn	31,58	31,50

$d = 10{,}073$ $\varepsilon = 2{,}054$
$l' = 1000$ $s = 161$ $n' = 795$ $q = 2495{,}7$ $v = 4{,}786$.

p	L'	L	$\alpha + \alpha'$
0,0		839,79	
0,2	842,14	841,98	2,798
0,3	850,27	850,08	12,474
0,4	858,47	858,02	22,232
0,5	871,41	871,75	40,003

$p_t < 0{,}2$; $A = 0{,}552$; $t = 0{,}93$.

Digitized by Google

2) Pb. Sn.

(Schnellloth)	berechnet	zerlegt I.	zerlegt II.	Mittel
Blei . .	63,77	63,76	65,02	64,39
Zinn . .	36,23	36,24	34,98	35,61

$d=9{,}408$ $\varepsilon=2{,}324$
$l'=1000$ $s=145{,}5$ $n'=879{,}7$ $q=2969$ $v=5{,}295$.

P	L'	$a+a'$
0,00	853,99	
0,02	858,26	4,996
0,68	1444,42	690,803
1,09	1553,02	817,865

$Pl<0{,}2$; $A=2{,}077$; $t=2{,}46$.

3) Pb_3 Sn_7.

	berechnet	zerlegt
Blei . .	43,01	43,42
Zinn . .	56,99	56,58

$d=8{,}750$ $\varepsilon=1{,}963$
$l'=1000$ $s=129$ $n'=992{,}2$ $q=3512{,}6$ $v=5{,}973$.

P	L'	L	$a+a'$
0,0		768,58	
0,2	771,11	771,00	3,318
0,4	778,85	778,54	13,389
0,6	839,27	838,84	92,006

$P<0{,}1$; $A=1{,}591$; $t=2{,}07$.

4) Pb_2 Sn_7.

	berechnet	zerlegt I.	zerlegt II.	Mittel
Blei . .	33,47	34,73	31,23	32,98
Zinn . .	66,53	65,27	68,77	67,02

$d=8{,}378$ $\varepsilon=2{,}190$
$l'=1000$ $s=123$ $n'=1040{,}7$ $q=3700{,}2$ $v=6{,}265$.

P	L'	L	$a+a'$
		821,10	
0,2	822,42	822,33	1,607
0,4	826,36	826,02	6,406
0,6	838,64	838,13	21,361

$P<0{,}2$; $A=0{,}340$; $t=1{,}07$.

Digitized by Google

I. Blei und Wismuth.

1) $Pb_{12}\ Bi_{7}$.

	berechnet	zerlegt
Blei	62,52	62,44
Wismuth . .	37,48	37,56

$d=11{,}037$ $\varepsilon=1{,}972$

$l=1000$ $s=191$ $n'=670$ $q=2021$ $v=4{,}034$.

P	L'	L	$a+a'$
0,0		790,78	
0,2	791,24	791,12	0,574
0,4	792,03	791,66	1,561
0,6	793,35	792,92	3,209
0,8	802,90	802,35	15,135

$Pt < 0{,}2$; $A=0{,}262$; $t=1{,}52$.

2) Pb Bi.

	berechnet	zerlegt
Blei	49,32	48,60
Wismuth . .	51,68	51,40

$d=10{,}790$ $\varepsilon=1{,}109$

$l'=970$ $s=174{,}5$ $n'=733{,}5$ $q=2367{,}3$ $v=4{,}415$.

P	L'	L	$a+a'$
0,0		844,69	
0,1	844,74	844,40	0,059
0,2	846,24	845,82	1,835
0,4	849,65	848,87	5,765
0,6	958,47	957,21	134,697

$Pt=0{,}1$; $A=0{,}440$; $t=1{,}79$.

3) $Pb\ Bi_{2}$.

	berechnet	zerlegt
Blei	32,73	35,45
Wismuth . .	67,27	64,55

$d=10{,}403$ $\varepsilon=2{,}405$

$l=265$ $N=16{,}332$ $n=15{,}675$ $q=2837{,}7$ $v=4{,}923$.

$A=0{,}025$ $t=5{,}22$.

III. Blei und Antimon.

1) Pb_2 Sb. (Schriftmetall, nach Berthier.)

	berechnet	zerlegt
Blei	76,25	74,27
Antimon . . .	23,75	25,73

$d = 10{,}101$ $\varepsilon = 4{,}761$
$l = 322$ $N = 13{,}685$ $n = 18{,}706$ $q = 2183$ $v = 4{,}382$.
$t = 1{,}87$.

2) Pb Sb.

	berechnet	zerlegt
Blei	61,60	64,51
Antimon . . .	38,39	35,49

$d = 10{,}064$ $\varepsilon = 2{,}325$
$l = 253$ $N = 15{,}850$ $n = 16{,}151$ $q = 2592$ $v = 4{,}784$.
$t = 5{,}59$.

3) Pb Sb_2.

	berechnet	zerlegt
Blei	44,52	43,63
Antimon . . .	55,48	56,37

$d = 8{,}946$ $\varepsilon = 2{,}494$
$l = 162$ $N = 5{,}107$ $n = 50{,}127$ $q = 3242$ $v = 5{,}674$.

4) Pb Sb_3.

	berechnet	zerlegt
Blei	34,86	34,99
Antimon . . .	65,14	65,01

$d = 8{,}499$ $\varepsilon = 2{,}498$
$l = 166$ $N = 4{,}996$ $n = 51{,}240$ $q = 3536$ $v = 6{,}080$.

IV. Blei und Gold.

Pb_{20} Au.

	berechnet	zerlegt
Blei	95,42	95,56
Gold	4,58	4,44

$d = 11{,}301$ $\varepsilon = 0{,}778$
$l = 185$ $N = 28{,}953$ $n = 8{,}842$ $q = 2227{,}8$ $v = 4{,}185$.
$A = 0{,}058$ $t = 4{,}74$.

Digitized by Google

V. Blei und Silber.

$Pb_3\ Ag_2$.

	berechnet	zerlegt
Blei	74,18	73,64
Silber . . . ,	25,82	26,36

$d = 10{,}743 \quad \varepsilon = 0{,}614$

$l = 150 \quad N = 19{,}950 \quad n = 12{,}832 \quad q = 3095 \quad v = 5{,}060.$

VI. Blei und Platin.

1) $Pb_{85}\ Pt$.

	berechnet	zerlegt
Blei	98,92	98,88
Platin	1,08	1,12

$d = 11{,}473 \quad \varepsilon = 1{,}209$

$l = 1000 \quad s = 160 \quad n' = 757{,}4 \quad q = 2684 \quad v = 4{,}560$

$P_l = 0{,}4$ bis $0{,}6 \quad A = 0{,}026 \quad t = 1{,}65.$

2) $Pb_6\ Pt$.

	berechnet	zerlegt
Blei	86,30	87,08
Platin	13,70	12,92

$d = 12{,}207 \quad \varepsilon = 2{,}489$

$l = 177 \quad N = 7{,}288 \quad n = 35{,}126 \quad q = 3107{,}5 \quad v = 4{,}756.$

VII. Blei und Zink.

1) $Pb_6\ Zc$.

	berechnet	zerlegt
Blei	95,06	95,15
Zink	4,94	4.85

$d = 11{,}199 \quad \varepsilon = 4{,}762$

$l = 334{,}5 \quad N = 15{,}689 \quad n = 16{,}317 \quad q = 2144 \quad v = 4{,}125$

$A = 0{,}069 \quad t = 2{,}75.$

2) $Pb_4\ Zc$.

	berechnet	zerlegt			Mittel
Blei . .	92,77	92,21	90,87	91,94	91,91
Zink . .	7,23	7,09	9,13	8,06	8,09

Digitized by Google

Dieſe Legirung war nicht ganz rein, enthielt überdieſs 1,35 Proc. Zinn.

$d=11{,}172$ $\varepsilon=1{,}579$

$l'=1000$ $s=17{,}3$ $n'=739{,}9$ $q=2493$ $v=4{,}454$.

P	L'	L	$a+a'$
		777,73	
0,2	777,90	777,77	0,218
0,4	778,04	777,77	0,398
0,6	778,27	777,96	0,693
0,8	778,93	778,44	1,543
1,0	784,89	784,33	9,206

$P_I=0{,}1$; $A=0{,}060$; $t=2{,}02$.

3) Pb_2 Zc.

	berechnet	zerlegt
Blei	86,50	87,90
Zink	13,50	12,10

$d=11{,}130$ $\varepsilon=1{,}445$

$l'=1000$ $s=162$ $n'=790$ $q=2833{,}3$ $v=4{,}756$.

P	L'	a	$a+a'$
0,0		793,49	
0,2	793,63	793,50	0,176
0,4	793,89	793,68	0,503
0,6	794,12	793,81	0,794
0,8	794,33	793,99	1,058
1,0	794,97	794,49	1,864
1,5	815,31	814,50	28,707

$P_I=0{,}2$; $A=0{,}060$; $t=2{,}02$.

4) Pb Zc.

	berechnet	zerlegt
Blei	76,25	74,72
Zink	23,75	25,28

$d=9{,}430$ $\varepsilon=2{,}570$

$l=282$ $N=13{,}865$ $n=18{,}464$ $q=4007$ $v=6{,}145$

$t=3{,}47$.

5) Pb_2 Zc_3.

	berechnet	zerlegt
Blei	68,15	67,88
Zink	31,85	32,12

$d=$

$d=9{,}043$ $\varepsilon=2{,}549$
$l=287$ $N=10{,}962$ $n=23{,}353$ $q=6647$ $v=8{,}081$
$t=3{,}40$.

6) Pb Zc_5.

	berechnet	zerlegt
Blei	39,10	40,88
Zink	60,90	59,12

$d=8{,}397$ $\varepsilon=1{,}132$
$l=105$ $N=3{,}335$ $n=76{,}762$ $q=6108$ $v=8{,}039$.

7) Pb Zc_{10}.

	berechnet	zerlegt
Blei	24,30	24,31
Zink	75,70	75,69

$d=7{,}910$ $\varepsilon=2{,}556$
$l=262$ $N=8{,}137$ $n=31{,}460$ $q=7352$ $v=9{,}088$
$A=0{,}004$ $t=4{,}4$.

VIII. Blei und Kupfer.

Pb_5 Cu.

	berechnet	zerlegt
Blei	94,24	94,21
Kupfer . . .	5,76	5,79

Vermöge der Unreinheit des Bleis enthielt diese Legirung noch 1,7 Proc. Zinn, die ich indeſs vernachlässigen zu können glaubte.

$d=11{,}165$ $\varepsilon=1{,}224$
$l=185$ $N=18{,}177$ $n=13{,}634$ $q=2112{,}7$ $v=4{,}100$
$A=0{,}043$ $t=2{,}13$.

IX. Zinn und Wismuth.

1) Sn_9 Bi_{10}.

	berechnet	zerlegt
Zinn	33,22	33,23
Wismuth . .	66,78	66,77

$d=8{,}685$ $\varepsilon=2{,}559$
$l=254$ $N=11{,}423$ $n=22{,}410$ $q=3610{,}5$ $v=6{,}078$
$A=0{,}028$ $t=8{,}19$.

Digitized by Google

2) $Sn_3\ Bi_4$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	29,31	29,91
Wismuth . .	70,69	70,09

$d = 8{,}890$ $\varepsilon = 2{,}501$
$l = 253$ $N = 13{,}147$ $n = 19{,}472$ $q = 2874{,}5$ $v = 5{,}360$
$A = 0{,}015$ $t = 6{,}63$

X. Zinn und Antimon.

1) $Sn_4\ Sb$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	21,52	20,75
Antimon . . .	78,48	79,25

$d = 7{,}211$ $\varepsilon = 2{,}592$
$l = 413$ $N = 25{,}707$ $n = 9{,}958$ $q = 4033$ $v = 7{,}050$
$t = 8{,}86$.

2) $Sn_8\ Sb_5$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	59,33	59,52
Antimon . . .	40,67	40,48

$d = 7{,}052$ $\varepsilon = 2{,}504$
$l = 344$ $N = 16{,}927$ $n = 15{,}124$ $q = 4695{,}5$ $v = 7{,}692$
$A = 0{,}010$ $t = 7{,}82$.

3) $Sn_3\ Sb_2$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	57,76	56,60
Antimon . . .	42,24	43,40

$d = 7{,}007$ $\varepsilon = 2{,}512$
$l = 215$ $N = 6{,}260$ $n = 40{,}895$ $q = 5168$ $v = 8{,}096$.

Diese Legirung ist zu spröde, um der Dehnung unterworfen werden zu können.

XI. Zinn und Silber.

$Sn_{14}\ Ag$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	93,84	93,66
Silber	6,16	6,34

Digitized by Google

$d = 7{,}494$ $\varepsilon = 0{,}815$
$l = 116$ $N = 6{,}308$ $n = 40{,}584$ $q = 4377$ $v = 7{,}204$
$t = 4{,}31$.

XII. Zinn und Zink.

1) $Sn_2\,Zc$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	78,48	77,11
Zink	21,52	22,89

$d = 7{,}366$ $\varepsilon = 2{,}090$
$l' = 1000$ $s = 96$ $n' = 1330$ $q = 5336{,}4$ $v = 8{,}023$
$P_l = 0{,}2$ $A = 0{,}246$ $t = 5{,}78$.

2) $Sn_3\,Zc_2$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	73,23	74,31
Zink	26,77	25,69

$d = 7{,}255$ $\varepsilon = 1{,}602$
$l' = 1000$ $s = 90$ $n' = 1422$ $q = 5982$ $v = 8{,}560$
$P_l < 0{,}2$ $A = 0{,}252$.

3) $Sn\,Zc$.

	berechnet	zerlegt		Mittel
Zinn . . .	64,58	63,21	63,58	63,40
Zink . . .	35,42	36,79	36,42	36,60

$d = 7{,}143$ $\varepsilon = 1{,}847$
$l' = 1000$ $s = 86$ $n' = 1488{,}4$ $q = 6453$ $v = 8{,}959$
$P_l = 0{,}2$ bis $0{,}5$ $A = 0{,}036$ $t = 4{,}68$.

4) $Sn_3\,Zc_7$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	43,90	43,51
Zink	56,10	56,49

$d = 7{,}193$ $\varepsilon = 1{,}436$
$l = 187$ $N = 7{,}278$ $n = 35{,}175$ $q = 7113$ $v = 9{,}376$
$P_l = 0{,}3$ bis $0{,}5$ $A = 0{,}124$ $t = 2{,}4$.

5) $Sn\,Zc_3$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	37,81	38,47
Zink	62,19	61,53

Digitized by Google

$d=6{,}746$ $\varepsilon=2{,}522$
$l=346$ $N=13{,}725$ $n=18{,}652$ $q=6976$ $v=9{,}525$
$P_l=0{,}2$ $A=0{,}082$ $t=4{,}32$.

6) Sn Zc_5.

	berechnet	zerlegt
Zinn	26,73	26,08
Zink	73,27	73,92

$d=6{,}957$ $\varepsilon=1{,}970$
$l'=853$ $s=68$ $n'=1882$ $q=7314$ $v=9{,}665$
$P_l=0{,}4$ $A=0{,}023$ $t=7{,}52$.

XIII. Zinn und Platin.

Sn_{50} Pt.

	berechnet	zerlegt
Zinn	96,75	96,77
Platin	3,25	3,23

$d=7{,}578$ $\varepsilon=2{,}481$
$l=185$ $N=4{,}814$ $n=53{,}177$ $q=5309$ $v=7{,}890$
$t=4{,}75$.

XIV. Zinn und Kupfer.

1) Sn_5 Cu_6.

	berechnet	zerlegt
Zinn	60,76	61,07
Kupfer	39,23	38,93

$d=8{,}332$ $\varepsilon=2{,}709$
$l=198$ $N=4{,}936$ $n=51{,}863$ $q=6113$ $v=8{,}074$

2) Sn Cu_2.

	berechnet	zerlegt
Zinn	48,16	47,90
Kupfer	51,84	52,10

$d=8{,}531$ $\varepsilon=2{,}518$
$l=187{,}5$ $N=4{,}139$ $n=61{,}85$ $q=8280$ $v=9{,}287$.

3) Sn Cu_7. (Tamtam-Metall).

	berechnet	zerlegt
Zinn	20,97	21,62
Kupfer	79,03	78,38

Digitized by Google

a) nicht gehärtet.

$d=8{,}813$ $\varepsilon=2{,}258$
$l=367$ $N=16{,}541$ $n=15{,}476$ $q=9784$ $v=9{,}932$.

b) gehärtet.

$d=8{,}686$ $\varepsilon=2{,}274$
$l=135$ $N=2{,}484$ $n=103{,}06$ $q=7716$ $v=8{,}884$.

4) $Sn\,Cu_{22}$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	7,79	7,87
Kupfer	92,21	92,13

Diese Legirung (eine Art Stückgut) war zu stark erhitzt worden, und dadurch der daraus gegossene Stab an einigen Stellen fehlerhaft. Die folgenden Zahlen sind also wahrscheinlich unrichtig.

a) nicht gehärtet.

$d=8{,}738$ $\varepsilon=2{,}274$
$l=282$ $N=10{,}603$ $n=24{,}144$ $q=8115$ $v=9{,}085$.

b) gehärtet.

$d=8{,}537$ $\varepsilon=2{,}300$
$l=163{,}5$ $N=3{,}823$ $n=66{,}963$ $q=6734$ $v=8{,}372$.

XV. Zinn und Eisen.

1) $Sn_{20}\,Fe$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	97,70	97,78
Eisen	2,30	2,22

$d=7{,}266$ $\varepsilon=1{,}020$
$l=300$ $N=31{,}458$ $n=8{,}138$ $q=4881$ $v=7{,}726$

2) $Sn_{11}\,Fe$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	95,98	96,03
Eisen	4,02	3,97

Digitized by Google

$d=7{,}418$ $\varepsilon=1{,}426$
$l'=884$ $s=88$ $n'=1454{,}5$ $q=5001$ $v=7{,}740$
$t=2{,}4$.

XVI. Silber und Palladium.

$Ag_2\ Pd_3$.

	berechnet	zerlegt
Silber	40,36	38,10
Palladium . .	59,64	61,90

(Legirung zum Gebrauch der Zahnärzte).

$d=10{,}903$ $\varepsilon=0{,}527$
$l=115$ $N=7{,}655$ $n=33{,}442$ $q=10003$ $v=9{,}029$.

p	L'	L	a	a'	q
5,73		790,35			
11,74	790,79	790,35	0,557		10292
14,33	791,02	790,35	0,848		10146
17,20	791,22	790,35	1,108		10420
20,07	791,43	790,37	1,341	0,025	10685
22,94	791,70	790,42	1,619	0,088	10623
28,67	792,30	790,53	2,239	0,228	10244
34,40	792,89	790,76	2,693	0,519	10644

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $=10654$
Schallgeschwindigkeit $=9{,}222$

$Pt=20$ bis 23; $A=0{,}04$; $t=50{,}46$.

XVII. Silber und Kupfer.

1) $Ag_5\ Cu$.

	berechnet	bekannt. Zusammensetz.
Silber . . .	89,52	90,00
Kupfer . .	10,48	10,00

(Franz. Silbermünze umgeschmolz. u. zu Draht gezog.)

$d=10{,}121$ $\varepsilon=0{,}370$
$l=119$ $N=11{,}898$ $n=21{,}516$ $q=8913{,}4$ $v=8{,}846$
$t=44{,}05$.

2) $Ag\ Cu$.

	berechnet	zerlegt
Silber	63,07	61,72
Kupfer . . .	36,93	38,28

$d=9{,}603$ $\varepsilon=0{,}391$
$l=121$ $N=11{,}557$ $n=22{,}151$ $q=8590$ $v=8{,}915$.

p	L'	L	a	a'	q
5		771,22			
8	771,52	771,22	0,388		
12	771,76	771,22	0,700		
15	772,15	771,23	1,192	0,013	8386
21	772,70	771,25	1,879	0,039	8513
25	773,20	771,30	2,463	0,104	8121
30	773,64	771,41	2,890	0,246	8649
42	775,28	771,96	4,303	0,959	8598
50	776,73	772,55	5,418	1,724	8306

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $=8429$
Schallgeschwindigkeit $=8,831$

$Pt=21$ bis 25; $A=0,002$; $t=51,97$.

XVIII. Gold und Platin.

$Au_7\ Pt_2$.

	berechnet	zerlegt
Gold	77,91	77,87
Platin	22,09	22,13

$d=18,650$ $\varepsilon=0,300$
$l=191$ $N=48,88$ $n=5,237$ $q=9844$ $v=6,848$
$t=7,12$.

XIX. Gold und Eisen.

$Au_{19}\ Fe_2$.

	berechnet	zerlegt
Gold	97,21	97,22
Eisen	2,79	2,78

$d=18,842$ $\varepsilon=0,271$
$l=119$ $N=22,057$ $n=11,606$ $q=9024$ $v=6,524$
$A=0,016$ $t=20,41$.

XX. Zink und Kupfer.

1) $Zc_{13}\ Cu_4$.

	berechnet	zerlegt
Zink	76,81	76,80
Kupfer . . .	23,19	23,20

$d=7,301$ $\varepsilon=3,483$
$l=353$ $N=10,192$ $n=25,118$ $q=7678,6$ $v=9,667$
$t=4,10$.

Digitized by Google

2) Zc Cu.

	berechnet	zerlegt
Zink	50,47	50,07
Kupfer . . .	49,53	49,93

$d = 8{,}265$ $\varepsilon = 2{,}415$
$l = 481$ $N = 31{,}207$ $n = 8{,}203$ $q = 8{,}774$ $v = 9{,}712$
$t = 18{,}68$.

3) Zc_3 Cu_4.

	berechnet	zerlegt
Zink	43,32	42,99
Kupfer . . .	56,68	57,01

$d = 8{,}310$ $\varepsilon = 1{,}785$
$l = 208$ $N = 6{,}764$ $n = 37{,}848$ $q = 9105$ $v = 9{,}867$
$t = 36{,}8$

4[a]) Zc Cu_2. (Reines Messing).

	berechnet	zerlegt
Zink	33,75	33,20
Kupfer . . .	66,25	66,80

$d = 8{,}606$ $\varepsilon = 1{,}209$
$l = 386$ $N = 33{,}118$ $n = 7{,}730$ $q = 10163$ $v = 10{,}244$

P	L'	L	a	q
0		713,96		
20	715,65	714,04	2,255	8870
30	677,14	674,47	3,959	7578
40	590,25	587,64	4,441	9006
50	591,08	587,71	5,734	8720

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $= 8543$
Schallgeschwindigkeit $= 9{,}392$

$Pl = 15$; $t = 60{,}20$.

4[b]) Zc Cu_2. (Tomback des Handels).

	berechnet	zerlegt
Zink	33,75	33,35
Kupfer . . .	66,25	66,65

$d = 8{,}655$ $\varepsilon = 0{,}768$
$l = 214$ $N = 15{,}292$ $n = 16{,}740$ $q = 11218$ $v = 10{,}732$

Digitized by Google

P	L'	L	a	a	q
10,8	819,71	819,04	0,817		13208
16,2	820,27	819,04	1,501		10796
25,4	860,30	857,97	2,715	47,46	9352

Mittel des Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =11119

Schallgeschwindigkeit =10,684

Pt=16 bis 20; A=0,140; t=32,5.

5) Zc_8 Cu_{17}. (Berliner Messingdraht).

	berechnet	zerlegt
Zink	32,41	32,35
Kupfer . . .	67,59	67,65
Zinn		Spur

d=8,427 ε=0,213

l=107 N=14,533 n=17,615 q=9823 v=10,177

P	L'	L 5 Kil.	a	a'	q
10	815,36	814,93	0,527		9476
20	816,31	814,94	1,681	0,012	8923
30	817,41	815,25	2,650	0,393	9433

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =9277

Schallgeschwindigkeit =9,890

Pt=25; A=0,002; t=65,1.

6) Zc_2 Cu_{11}.

	berechnet	zerlegt
Zink	15,63	15,79
Kupfer . . .	84,37	84,21

d=8,653 ε=1,284

l'=1000 s=75 n'=1706 q=10290 v=10,270.

P	L'	L	a	a'	q
0		731,12			
2	731,28	731,12	0,219		9139
4	731,42	731,12	0,410		9748
6	731,70	731,17	0,725	0,068	8277
10	731,92	731,16	1,039	0,054	9620
20	732,78	731,18	2,188	0,082	9139
30	733,39	731,18	3,023	0,082	9925
40	734,25	731,10	4,035	0,246	9913

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =9394

Schallgeschwindigkeit =9,812

Pt =10 bis 20; A=0,003; t=48,3.

Digitized by Google

7) Zc Cu_6. (Art Similor).

	berechnet	zerlegt
Zink	14,52	14,96
Kupfer . . .	85,48	85,04

$d=8,636$ $\varepsilon=1,494$
$l'=1002$ $s=77$ $n'=1663$ $q=9778$ $v=10,031$.

P	*L'*	*L*	*a*	*a'*	*q*
5	797,52	796,87	0,815		
10	797,91	796,89	1,251		7995
15	798,22	796,90	1,656		9056
20	798,71	796,86	2,321		8615
25	799,12	796,86	2,836		8815
30	799,60	796,86	3,438		9725
35	800,05	796,86	4,028		8689
40	800,67	796,97	4,643	0,125	8615

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =8644
Schallgeschwindigkeit =9,431
$P_l=35$ bis 40; $A=0,001$; $t=51,9$.

B. Ternäre Legirungen.

I. Blei, Wismuth und Zinn.

Darcet's Metall.

Pb_2 Bi_3 Sn_2.

	berechnet	zerlegt
Blei	32,16	35,80
Wismuth . .	49,57	46,92
Zinn	18,27	17,28

$d=9,795$ $\varepsilon=1,851$
$l'=1001$ $s=158$ $n'=810,1$ $q=2626$ $v=4,881$
$P_l=0,2$ $A=0,695$ $t=1,74$.

II. Blei, Antimon und Zinn.

1) Pb_4 Sb_2 Sn_5.

	berechnet	zerlegt
Blei	49,47	49,36
Antimon. . .	15,41	15,05
Zinn	35,12	35,59

Digitized by Google

$d = 9{,}196$ $\varepsilon = 4{,}750$
$l = 233$ $N = 6{,}123$ $n = 41{,}810$ $q = 2735{,}2$ $v = 5{,}141$
$A = 0{,}032$ $t = 7{,}80$.

2) $Pb\,Sb\,Sn_3$.

	berechnet	zerlegt
Blei	30,06	32,06
Antimon . . .	18,72	17,82
Zinn	51,22	50,12

$d = 8{,}317$ $\varepsilon = 4{,}934$
$l = 272$ $N = 7{,}028$ $n = 36{,}724$ $q = 3232$ $v = 5{,}876$
$t = 5{,}62$.

III. Blei, Zinn und Zink.

$Pl_{14}\,Sn_4\,Zc_9$.

	berechnet	zerlegt
Blei	73,39	73,63
Zinn	11,91	11,96
Zink	14,70	14,41

$d = 10{,}212$ $\varepsilon = 2{,}484$
$l' = 1005$ $s = 166{,}5$ $n' = 768{,}8$ $q = 2486$ $v = 4{,}651$
$P_l < 0{,}02$ $A = 0{,}162$ $t = 1{,}44$.

IV. Zinn, Antimon und Kupfer.

$Sn_4\,Sb_2\,Cu_3$.

	berechnet	zerlegt
Zinn	51,23	50,57
Antimon . . .	28,09	28,16
Kupfer . . .	20,68	21,27

$d = 7{,}751$ $\varepsilon = 2{,}417$
$l = 331$ $N = 15{,}348$ $n = 16{,}679$ $q = 5770$ $v = 8{,}134$
$t = 4{,}17$.

V. Kupfer, Zink und Nickel.

1) $Zc_9\,Cu_{15}\,Ni_2$.

	berechnet	zerlegt
Zink	35,22	33,96
Kupfer . . .	57,60	57,24
Nickel	7,18	8,80

Digitized by Google

$d=8{,}403$ $\varepsilon=1{,}275$
$l'=1000$ $s=76{,}8$ $n'=1666{,}6$ $q=9517{,}6$ $n=10{,}032$.

P	L'	L	a	a'	q
0		828,36			
4	828,75	828,39	0,434	0,036	9205
10	829,41	828,40	1,219	0,048	8202
20	830,15	828,39	2,124	0,036	9414
30	831,00	828,46	3,066	0,120	9784
40	852,00	828,56	4,153	0,241	9632
50	833,11	828,67	5,360	0,374	9329

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =9261
Schallgeschwindigkeit =9,896

$Pl=20$ bis 30; $A=0{,}001$.

2) $Zc_4\ Cu_{13}\ Ni_5$.

	berechnet	zerlegt
Zink	18,74	18,24
Kupfer. . . .	59,78	60,54
Nickel	21,48	21,22

$d=8{,}541$ $\varepsilon=1{,}134$
$l'=1000$ $s=74{,}7$ $n'=1713{,}5$ $q=1022{,}7$ $v=10{,}315$.

P	L'	L	a	a'	q
0		713,94			
2,47	714,10	713,94	0,224		11022
9,16	714,52	713,94	0,812		11277
18,56	715,28	714,00	1,793	0,084	10353
24,75	715,68	714,17	2,115	0,322	11703
37,13	716,57	713,99	3,613	0,070	10275
49,50	717,67	714,17	4,902	0,322	10102

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung =10788
Schallgeschwindigkeit =10,594

$Pl=19$; $A=0{,}0001$; $t=61{,}88$.

3) $Zc_5\ Cu_6\ Ni_3$.

	berechnet	zerlegt
Zink	36,66	36,51
Kupfer . . .	43,17	43,00
Nickel	20,17	20,49

$d=8{,}436$ $\varepsilon=1{,}2825$
$l'=952$ $s=66$ $n'=1939$ $q=11722$ $v=11{,}112$.

Digitized by Google

P	L'	L	a	a'	q
0		743,24			
10	743,94	743,32	0,834	0,107	11987
20	744,55	743,25	1,749	0,113	11434
30	745,23	743,26	2,651	0,027	11317
40	745,92	743,28	3,552	0,054	11261

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $=11500$
Schallgeschwindigkeit $=11,006$

$Pt=40$; $A=0,001$; $t=55$.

4) $Zc_2\ Cu_5\ Ni_3$. (Käufliches Packfong).

	berechnet	zerlegt
Zink	20,71	20,39
Kupfer . . .	50,81	50,58
Nickel	28,48	29,03

$d=8,615$ $\varepsilon=0,891$
$l=300$ $N=24,743$ $n=10,346$ $q=12250$ $v=11,240$.

P	L'	L	a	a'	q
8	804,23	803,42	1,009		
14	804,55	803,42	1,407		9948
20	805,04	803,42	2,017		9912
30	805,83	803,42	3,001		9997
40	806,50	803,42	3,834		10434
50	807,66	803,87	4,715	0,558	10606
60	809,11	804,76	5,406	1,661	11099

Mittel der Elasticitätscoëfficienten durch Verlängerung $=10333$
Schallgeschwindigkeit $=10,324$

$Pt=45$; $A=0,0016$; $t=68,1$.

Die Resultate aller dieser Versuche finden sich in nachstehender Tafel zusammengestellt:

Digitized by Google

Metallgemisch	Zusammensatz	Dichtigkeit berechnet	Dichtigkeit gefunden	Mittles Atomgewicht	Log. α	Elasticitätscoëfficient berechn.	Elasticitätscoëfficient gefund. durch Schwingung.	Elasticitätscoëfficient gefund. durch Verlängerung.	Schallgeschwindigkeit nach Schwingung.	Schallgeschwindigkeit nach Verlängerung.	Elasticitätsgränze	Verlängerungsmaxima	Cohäsion
Blei, Zinn	Pb_{16} Sn_{13}	9,919	10,073	1043,8	0,67188	2430	2596		4,786		≤ 0,2	0,552	0,93
	Pb Sn [1])	9,801	9,408	1014,9	0,67765	2514	2969		5,295		≤ 0,2	2,077	2,46
	Pb_3 Sn_7	8,996	8,750	903,0	0,67123	2946	3512		5,973		≤ 0,1	1,591	2,07
	Pb_2 Sn_7	8,584	8,378	859,5	0,67037	3162	3700		6,265		≤ 0,2	0,340	1,07
Blei, Wismuth	Pb_{12} Bi_7	10,692	11,037	1308,0	0,69125	2322	2021		4,034		≤ 0,2	0,262	1,52
	Pb Bi	10,498	10,790	1312,5	0,69502	2446	2367		4,415		0,1	0,440	1,79
	Pb Bi_2	10,316	10,403	1318,4	0,70096	2564	2838		4,923			0,025	5,22
Blei, Antimon	Pb_2 Sb [2])	10,059	10,101	1131,8	0,68314	2489	2183		4,382				1,87
	Pb Sb	9,592	10,064	1050,5	0,67287	2693	2592		4,784				5,59
	Pb Sb_2	8,636	8,946	969,2	0,67826	3109	3242		5,674				
	Pb Sb_3	8,241	8,499	928,5	0,67947	3282	3536		6,080				
Blei, Gold	Pb_{20} Au	11,540	11,301	1291,9	0,68604	2281	2227		4,185			0,055	4,74
Blei, Silber	Pb_3 Ag_2	10,958	10,743	1047,0	0,66294	3373	3095		5,060				
Blei, Platin	Pb_{55} Pt	11,325	11,473	1293,8	0,68306	2134	2684		4,560		0,4;0,6	0,026	1,65
	Pb_4 Pt	11,930	12,207	1285,8	0,67419	3713	3107		4,756				
Blei, Zink	Pb_6 Zc	11,013	11,199	1167,2	0,67265	2356	2144		4,125			0,069	2,75
	Pb_4 Zc	10,890	11,172	1116,2	0,66654	2548	2493		4,454		0,1	0,060	2,02
	Pb_2 Zc	10,705	11,130	997,4	0,65079	2902	2833		4,756		0,2	0,060	2,02
	Pb Zc	10,165	9,430	848,9	0,64144	3921	4007		6,145				3,47
	Pb_2 Zc_3	9,880	9,043	759,7	0,65145	4444	6647		8,081				3,40
	Pb Zc_5	8,758	8,397	551,8	0,60589	6511	6108		8,039				
	Pb Zc_{10}	7,970	7,910	484,2	0,59551	7880	7352		9,088			0,004	4,40
Blei, Kupfer	Pb_5 Cu	11,083	11,165	1144,7	0,67028	2555	2113		4,100			0,043	2,13

Zinn, Wismuth	$Sn_9\ Bi_{10}$	8,980	8,685	1032,8	0,69175	3155	3610		6,078			0,028	8,19
	$Sn_3\ Bi_4$	9,064	8,890	1075,3	0,69421	3127	2874		5,360			0,015	6,63
Zinn, Antimon	$Sn_4\ Sb$	7,155	7,211	749,5	0,67226	3761	4033		7,050				8,86
	$Sn_9\ Sb_5$	7,027	7,052	762,7	0,67801	3815	4695		7,692			0,010	7,82
	$Sn_3\ Sb_2$	7,008	7,007	763,7	0,67914	3823	5168		8,096				
Zinn, Zink.	$Sn_2\ Zc$	7,243	7,366	624,6	0,64279	4974	5336		8,023		0,2	0,246	5,78
	$Sn_3\ Zc_2$	7,234	7,255	602,5	0,63977	5113	5982		8,560		<0,2	0,252	5,00
	$Sn\ Zc$	7,201	7,143	569,3	0,63382	5653	6453		8,959		0,2;0,5	0,036	4,68
	$Sn_3\ Zc_7$	7,141	7,193	502,8	0,61483	6639	7113		9,376		0,3;0,5	0,124	2,44
	$Sn\ Zc_3$	7,125	6,746	486,2	0,61925	6888	6976		9,525		0,2	0,082	4,32
	$Sn\ Zc_5$	7,087	6,957	458,6	0,60634	7502	7314		9,665		0,4	0,023	7,52
Zinn, Platin	$Sn_{30}\ Pt$	7,724	7,578	745,0	0,66420	4090	5309		7,890				4,75
Zinn, Kupfer	$Sn_6\ Cu_6$	7,931	8,332	550,0	0,60654	6868	6113		8,074				
	$Sn\ Cu_2$	8,148	8,531	508,9	0,59188	7939	8280		9,287				
Tamtam-Metall .	$Sn\ Cu_7$	8,580	8,813	438,1	0,56518	10082	9784		9,932				
dito gehärtet .	dito		8,686		0,56758		7716		8,884				
Bronze.	$Sn\ Cu_{22}$	8,806	8,738	410,5	0,55730	11192	8115?		9,085?				
dito gehärtet . .	dito		8,537		0,56067		6734?		8,372?				
Zinn, Eisen	$Sn_{20}\ Fe$	7,300	7,266	761,4	0,66462	4052	4881		7,726				
	$Sn_{20}\ Fe$	7,309	7,418	702,3	0,65874	4327	5001		7,740				2,40
Silber, Palladium [3]) . .	$Ag_2\ Pd_3$	10,957	10,903	669,9	0,59615	10542	10003		9,029	9,222	20,23	0,004	50,46
Silber, Kupfer [4]) . . .	$Ag_5\ Cu$	10,225	10,121	629,1	0,59783	8290	8913		8,846				44,05
	$Ag\ Cu$	9,819	9,603	535,7	0,58217	9617	8590		8,915	8,831	21,25	0,002	51,97
Gold, Platin	$Au_7\ Pt_2$	19,122	19,650	1240,9	0,60768	10231	9844		6,848				7,12
Gold, Eisen	$Au_{19}\ Fe_2$	18,215	18,842	1157,0	0,59607	8920	9024		6,524			0,016	20,41
Zink, Kupfer	$Zc_{13}\ Cu_4$	7,495	7,301	401,5	0,58010	10149	7678		9,667				4,10
	$Zc\ Cu$	7,997	8,265	399,5	0,56143	10749	8774		9,713				18,68
	$Zc_3\ Cu_4$	8,129	8,310	398,9	0,56042	10906	9105		9,867				36,80

1) Schnellloth der Klempner. 2) Schriftgieſsermasse. 3) Von den Zahnärzten gebraucht. 4) Französische Silbermünze.

Metallgemisch	Zusammensatz	Dichtigkeit berechnet	Dichtigkeit gefunden	Mittles Atomgewicht	Log. α	Elasticitätscoëfficient berechn	Elasticitätscoëfficient gefund. durch Schwingung.	Elasticitätscoëfficient gefund. durch Verlängerung.	Schallgeschwindigkeit nach Schwingung.	Schallgeschwindigkeit nach Verlängerung.	Elasticitätsgränze	Verlängerungsmaxima	Cohäsion
Reines Messing .	Zc Cu_2	8,313	8,606	398,2	0,55510	11123	10163	8543	10,244	9,392	15		60,22
Käufliches Tomback	dito	8,311	8,655		0,55428	11120	11218	9277	10,732		16,20	0,140	32,5
Berliner Messing.	Zc_8 Cu_{17}	8,329	8,427	398,1	0,55811	11142	9823	9394	10,177	9,890	25	0,002	65,1
	Zc_3 Cu_{11}	8,640	8,670	396,9	0,55355	11509	10290	8644	10,270	9,812	30—40	0,003	48,3
Art Similor	Zc Cu_6	8,663	8,636	396,8	0,55409	11538	9778		10,031	9,431	40	0,001	51,9
Blei, Wismuth, Zinn[1])	Pb_2 Bi_3 Sn_2	9,870	9,795	1150,1	0,68991	2653	2626		4,881	4,881	< 0,2	0,695	1,74
Blei, Antimon, Zinn .	Pb_4 Sb_2 Sn_5	8,977	9,196	951,5	0,67160	2873	2735		5,141			0,032	7,80
	Pb Sb Sn_3	8,433	8,317	861,4	0,67174	3202	3232		5,876				5,62
Blei, Zinn, Zink . . .	Pb_{14} Sn_4 Zc_9	10,109	10,212	914,5	0,65069	3037	2486		4,651		< 0,2	0,162	1,44
Zinn, Antimon, Kupfer	Sn_4 Sb_2 Cu_3	7,458	7,751	637,9	0,63846	4992	5770		8,133				4,17
Zink, Kupfer, Nickel .	Zc_9 Cu_{15} Ni_2	8,256	8,403	396,3	0,55786		9617	9261	10,032	9,896	20—30	0,001	
Art Neusilber. . .	Zc_4 Cu_{18} Ni_3	8,525	8,541	391,2	0,55363		10227	10788	10,315	11,594	19—24	0,001	61,88
Sehr geschmeidiges Packfong .	Zc_5 Cu_6 Ni_3	8,170	8,436	392,8	0,55601		11722	11500	11,112	11,006	30—40	0,001	55,0
Käufliches Packfong	Zc_2 Cu_5 Ni_3	8,463	8,615	389,4	0,55171		12250	10333	11,240	10,324	45	0,002	68,1

1) **Darcet's Metall.**

Die vierte und achte Spalte dieser Tafel enthält die Mittel aus den Dichtigkeiten und Elasticitätscoëfficienten, berechnet aus ihrer wahren, durch Analyse gefundenen Zusammensetzung, nach den Dichtigkeiten und den schon bekannten Elasticitätscoëfficienten der einfachen Metalle, falls diese einer gleichen mechanischen Behandlung wie die Legirungen unterworfen werden. Die aus den Schwingungen abgeleiteten Dichtigkeiten und Elasticitätscoëfficienten sind also berechnet: für die geschmeidigen Legirungen aus den Werthen derselben Gröſsen, wie sie bei den ausgezogenen Metallen bestimmt wurden, und für die nicht geschmeidigen Legirungen aus den bei gegossenen oder angelassenen Metallen gefundenen Zahlen. Beim Wismuth und Antimon, bei denen ich durch transversale und longitudinale Schwingungen verschiedene Resultate gefunden habe, nahm ich als wahren Werth ihres Elasticitätscoëfficienten das Mittel der nach beiden Methoden gefundenen Zahlen.

Der bloſse Anblick dieser Tafel zeigt, daſs weder die Elasticitätsgränzen, noch die Verlängerungsmaxima noch die Cohäsionen irgend eine Regelmäſsigkeit darbieten; da überdieſs die gefundenen Zahlen nicht einmal für eine und dieselbe Legirung constant sind, so wäre es unnütz, sie weiter zu erörtern.

Was die Elasticität betrifft, die durch eine constante Angabe gemessen wird, so ist es natürlich zunächst zu untersuchen, ob die Beziehung, die bei den einfachen Metallen zwischen deren Coëfficienten und Molecularconstitutionen gefunden worden, auch für die Legirungen gelte. Dazu ist man genöthigt, eine gewisse Anordnung der Molecule vorauszusetzen, um dann zu sehen, ob die Folgerungen aus dieser Hypothese mit der Erfahrung übereinstimmen. Beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse von den Molecularkräften habe ich nur die einfachste aller Hypothesen prüfen können, nämlich die: daſs bei einer Legirung, von welcher Natur sie auch sey,

alle Molecule gleichen Abstand von einander haben. Man findet diesen mittleren Abstand, wie bei den einfachen Metallen, wenn man das Mittel aus den Atomgewichten der Bestandtheile für das Atomgewicht der Legirung nimmt. Die Logarithmen dieser mittleren Abstände α sind in der siebenten Spalte enthalten. Vergleicht man diese Abstände mit den entsprechenden Elasticitätscoëfficienten, so sieht man, daſs im Allgemeinen bei den Legirungen, wie bei den einfachen Metallen, die Elasticitätscoëfficienten in dem Maaſse wachsen, wie die Abstände der Molecule abnehmen. Jedoch ist diese Regel bei weitem nicht so vollständig, wie bei den einfachen Metallen; überdieſs ist der Werth von $q\alpha^7$, der bei letzteren fast constant ist, bei den Legirungen in einer ziemlich groſsen Erstreckung variabel. Eine andere Hypothese über die Anordnung der Molecule mag vielleicht diese Anomalie verschwinden lassen.

Einstweilen muſs man sich begnügen, die Elasticität der Legirungen aus der Elasticität ihrer Bestandtheile herzuleiten. Ich habe daher den mittleren Elasticitätscoëfficienten zugleich mit der mittleren Dichte berechnet. Denn einerseits ist die Bildung einer Legirung fast immer von einer gewissen Condensation oder Dilatation begleitet, und andererseits machen alle Umstände, welche die Dichtigkeit eines Metalls vergröſsern oder verringern, zu gleicher Zeit den Elasticitätscoëfficienten gröſser oder kleiner. Es war daher natürlich vorauszusetzen, daſs bei den Legirungen, die mit Condensation entstehen, der Elasticitätscoëfficient gröſser sey als das Mittel aus den Elasticitätscoëfficienten ihrer Bestandtheile, und daſs er allemal unter diesem Mittel liege, wenn eine Dilatation stattgefunden hat. Allein Dergleichen zeigt sich nicht. Die mittleren Elasticitätscoëfficienten stimmen ziemlich gut mit den durch Versuch gefundenen Zahlen, ausgenommen bei einigen Legirungen von Zink und Kupfer, und die Unterschiede sind bald in gleichem Sinn, wie die Unterschiede

Digitized by Google

zwischen den mittleren und wahren Dichtigkeiten, bald im umgekehrten Sinn. Man kann also im Voraus bestimmen, wie eine Legirung zusammengesetzt seyn muſs damit sie einen gewissen gegebenen Elasticitätscoëfficienten habe (sobald dieser zwischen den Gränzen der Elasticitätscoëfficienten der bekannten Metalle liegt), und den Schall mit einer gegebenen Geschwindigkeit fortpflanze.

Folgerungen.

1) Nimmt man an, daſs alle Theilchen einer Legirung gleichen Abstand von einander haben, so findet man, daſs je kleiner dieser Abstand, desto gröſser der Elasticitätscoëfficient ist.

2) Der Elasticitätscoëfficient einer Legirung ist beinahe das Mittel aus den Elasticitätscoëfficienten ihrer Bestandtheile, ohne daſs die bei Bildung des Metallgemisches stattfindenden Verdichtungen oder Ausdehnungen ihn merklich abändern.

3) Weder Elasticitätsgränze, noch Verlängerungsmaximum, noch Cohäsion können für eine Legirung *a priori* aus dem Mittel dieser für die Bestandtheile bekannten Gröſsen berechnet werden.

III. *Untersuchungen über die Elasticität; von G. Wertheim* [1]).

Dritte Abhandlung.

Vom Einfluſs des galvanischen Stroms und des Elektromagnetismus auf die Elasticität der Metalle.

Nachdem wir in den vorhergehenden Abhandlungen die Elasticität der Metalle in ihrem natürlichen Zustande, dann bei verchiedenen Stufen der Verdichtung und Ausdehnung,

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XII, p.* 610.

Digitized by Google

so wie endlich in verschiedenen Temperaturen studirt haben, bleibt uns noch zu sehen, ob die mechanischen Kräfte und die Wärme allein im Stande seyen, ihre Elasticität zu verändern, oder ob auch die Elektricität und der Magnetismus analoge Effecte hervorbringen können.

Der Zusammenhang der molecularen und elektrischen Kräfte erweist sich durch eine groſse Zahl von mechanischen Effecten des elektrischen Stroms, z. B. durch die Auflockerung der Leiter, Fortführung der Materie u. s. w. Dieser Zusammenhang ist so innig, daſs mehre Physiker nicht angestanden haben, daraus auf eine vollkommene Einerleiheit beider Kräfte zu schlieſsen, und die Elektricität nur für eine gewisse Modification der Molecularkräfte zu erklären. Es war also natürlich vorauszusetzen, daſs die Elasticität durch die Elektricität abgeändert werden könne. Wenn man dieſs noch nicht zu prüfen versucht hat, so geschah es wahrscheinlich nur wegen der groſsen Schwierigkeiten bei dem Experimentiren mit statischer Elektricität und wegen der Wärmeentwicklung, welche den Versuch mit dem elektrischen Strom so verwickelt macht.

In der That kann der elektrische Strom in zweierlei Weisen auf die Elasticität einwirken: direct durch eine Abänderung der Molecularkräfte, oder indirect vermöge der Wärme, die auf sie reagirt. Erst nachdem der Einfluſs der Wärme durch verschiedene Versuche bestimmt worden, konnte man an diese Aufgabe gehen.

Die Versuche wurden mit dem in der ersten Abhandlung ausführlich beschriebenen Apparat angestellt.

Eine Bunsen'sche Säule (Taf. I, Fig. 11 *A*.) wird verbunden mit einer Kupferstange *B*, die am anderen Ende zu einem Haken *C* gekrümmt ist. Dieser Haken ist im oberen Schraubstock des Apparats eingezwängt; man hängt daran den auf seine Elasticität zu untersuchenden Draht, der bei meinen Versuchen immer 1 Meter lang war. Das untere Ende dieses Drahts trägt

Digitized by Google

einen isolirten Haken D, zur Aufhängung der Gewichte, und steht mittelst einer ähnlichen Kupferstange, wie die vorige, mit einem Galvanometer E in Verbindung. Die Kette ist sonach vorgerichtet: Säule, Kupferstange, Draht zum Messen seiner Verlängerung, Kupferstange, Galvanometer.

Da ich hier nur mit starken Strömen zu thun hatte, wandte ich ein nur wenig empfindliches Galvanometer an; es besteht aus zwei breiten, über einander gelegten und durch gefirniſste Seide isolirten Kupferstreifen und einer ziemlich starken Nadel. Es wurde nach den Angaben des Peltier construirt, und nach seiner Methode des doppelten Stroms graduirt [1]).

Wie gewöhnlich waren auf dem Draht zwei Merkstriche gezogen, und der Elasticitätscoëfficient wurde zuvor ohne Wirkung des Stroms bestimmt, durch Messung des Abstandes beider Merkstriche bei zwei Belastungen, deren eine so beträchtlich war, daſs sie eine Verlängerung von 1 bis 2 Millimeter bewirkte, während die andere bloſs hinreichte, den Draht zu spannen. Darauf lieſs man Ströme von verschiedener Stärke durch den Draht gehen, und maſs dabei jedesmal die Länge, welche er unter den beiden Belastungen annahm. Ich traf die Sorgfalt, immer mit den stärkeren Strom anzufangen, weil es möglich gewesen wäre, daſs der Draht bei der hohen Temperatur, die er unter der Wirkung des Stroms erreichte, eine bleibende Verlängerung erfahren hätte. Wenn dieſs geschieht, würde man groſse Fehler begehen, wenn man von den bei schwachen Strömen gemessenen Längen ausginge; denn man würde für Wirkung einer Schwächung der Elasticität halten, was in Wahrheit nur eine bleibende Verlängerung, erzeugt durch die Belastung bei hoher Tem-

1) *Mémoire sur la formation des tables des rapports qu'il y a entre la force d'un courant électrique et la déviation des aiguilles des multiplicateurs.* (*Ann. de chim. et de phys. Ser. II, T. LXXI, p.* 225.)

Digitized by Google

peratur, seyn würde. Hierauf wurde der Strom allmälig geschwächt, und die Elasticität bei verschiedenen Stärken des Stroms gemessen. Endlich, nachdem der Strom unterbrochen und der Draht vollkommen erkaltet war, wurde dessen Elasticität abermals bestimmt.

Diese scheinbar so einfachen Versuche haben doch groſse Schwierigkeiten. Zuvörderst ist die Bunsen'sche Säule nicht ganz constant, besonders bei etwas groſsen Stromstärken; jede Schwächung des Stroms bewirkt aber eine Senkung der Temperatur, und damit ein Zusammenrücken beider Merkstriche. Dann entsteht auch oft eine Erkaltung durch Luftströme, die ganz zu vermeiden oft unmöglich ist, wenngleich der Draht sorgfältig mit einem Glascylinder *F* umgeben war. Wegen der Schwankungen des unteren Merkstrichs ist es dann unmöglich, genaue Messungen zu machen, und beträchtliche Fehler lassen sich nur vermeiden, wenn man den Strom so lange wirken läſst, bis man keine Schwankung mehr bemerkt, und alsdann rasch, nach einander, die beiden Messungen am unteren Striche macht.

Diese Vorsichtsmaſsregeln muſs man beachten, weil man sonst die beiden Längen, welcher jeder Stromstärke entsprechen, und die beiden Längen, die dem Draht im natürlichen Zustande zukommen, nicht genau findet. Mittelst dieser Angaben und mittelst der Coëfficienten der linearen Verlängerung kann man die Längen des unbelasteten Drahts und die Temperaturerhöhung für jede Stromstärke finden. Wenn endlich die Veränderung der Elasticitätscoëfficienten durch die Wärme gegeben ist, so kann man finden, wie groſs der Elasticitätscoëfficient bei der Temperatur seyn muſs, die er unter der Wirkung des Stroms erreicht; und wenn man diesen Coëfficienten mit dem durch den Versuch gefundenen vergleicht, so wird man sogleich ersehen, ob der elektrische Strom an sich eine Veränderung der Elasticität bewirke.

Es wäre indeſs möglich, daſs die so gefundenen Tem-

Digitized by Google

peraturen zu hoch wären; denn der Strom könnte durch seine eigene Wirkung eine Verlängerung des Drahts bewirken; dieſs ist ein Umstand, den man berücksichtigen muſs, wenn es sich um die Bestimmung der Gesetze dieser Elasticitätsänderungen handelt. Man könnte diese Frage leicht entscheiden, wenn man die Temperatur auf eben angezeigte Weise bestimmte und sie zugleich direct mäſse; allein es ist nicht wahrscheinlich, daſs ein solcher Einfluſs statthabe, denn die successiven Temperaturen, die wir aus den Längen abgeleitet haben, stimmen ziemlich wohl mit dem Gesetz der Proportionalität der Temperaturen mit den Quadraten der Stromstärken, einem Gesetz, welches neuerlich durch Hrn. Lenz und Hrn. E. Becquerel nachgewiesen ist.

Wie dem auch seyn mag, da es sich hier nur um den Nachweis der Erscheinung handelt, so wird für den Augenblick diese Unsicherheitsquelle vernachlässigt werden können, um so mehr, da, wenn durch bloſse Wirkung des Stroms eine Ausdehnung stattfindet, die von uns an den Elasticitätscoëfficienten angebrachten Berichtigungen zu groſs sind. Die Unterschiede zwischen den Elasticitätscoëfficienten mit und ohne Wirkung des Stroms werden also noch die übersteigen, welche wir gefunden haben.

Sey nun p die zur Spannung des Drahts angewandte Belastung pro Quadratmillimeter; — P die Belastung, welche die elastische Verlängerung bewirkt; — l und L die Abstände der beiden Merkzeichen unter Wirkung der beiden Belastungen bei der Temperatur 10° C. und ohne Strom; — l_1 und L_1 dieselben Abstände, wenn der Draht von einem Strom durchlaufen wird, der die Temperaturerhöhung t bewirkt; — l_2 und l_3 dieselben Längen mit und ohne Strom, aber ohne irgend eine Belastung; — q_1, q_2, q_3 der Elasticitätscoëfficient bei der Temperatur 10°, bei der Temperatur $10° + t$ ohne Strom, und bei der Temperatur $10° + t$ mit Strom; — s der Querschnitt des Drahts in Quadratmillimetern.

Digitized by Google

Bezeichnet man endlich mit a den Coëfficient der linearen Verlängerung, und mit b den Coëfficienten der Veränderung des Elasticitätscoëfficienten für 1° C., so hat man:

$$l_2 = \frac{Pl - pL}{P - p}\ ;\ l_3 = \frac{Pl_1 - pL_1}{P - p}\ ;\ t = \frac{1}{a}\left(\frac{Pl_1 - pL_1}{Pl - pL} - 1\right)$$

$$q_1 = \frac{(P-p)l}{L - l}\ ;\ q_2 = q_1(1 + tb)\ ;\ q_3 = \frac{(P-p)l_1}{L_1 - l_1}.$$

Sey endlich noch R der Widerstand, den ein Draht von der Einheit des Querschnitts dem Durchgange des Stroms entgegensetzt, dann haben wir für a, b und R folgende Werthe:

	a	b von 0° bis 100°	b von 0° bis 200°	R nach Hrn. Rieſs
Silber	0,000019097 L.L	0,000000		1043
Kupfer	0,000017182 D.P	— 0,000823		1552
Gold	0,000014660 L.L	— 0,000396		1746
Messing	0,000018667 L.L	— 0,000823		5602
Eisendraht, gewöhnlicher .	0,000011821 D.P	+ 0,000825	— 0,000826	8789
Stahldraht, gewöhnlicher .	0,000010791 L.L	+ 0,000574	+ 0,080643	
Platin	0,000008842 D.P	— 0,001079		10000

Bei diesen Zahlen haben wir, der gröſseren Sicherheit wegen, die kleine Zunahme vernachlässigt, welche die Elasticität des Silbers durch eine Temperaturerhöhung bis 100° C. erleidet; überdieſs haben wir vorausgesetzt, daſs der Coëfficient b beim Messing gleich sey dem beim Kupfer, und der Widerstand R beim Eisen gleich sey dem beim Stahl. Die zur Einheit angenommene Stromstärke ist die, welche in meinem Galvanometer eine Ablenkung von 10° bewirkt. In nachstehender Tafel sind die Stromstärken mit F bezeichnet.

Digitized by Google

	s	F	P	L_1	p	l_1	a	t	q_1	q_2	q_3	$\frac{q_2 - q_3}{q_2}$	$\frac{n}{s}$
Silber.	0,154	8,03	13	707,57	3	706,38	1,685	14,8		6539	5936	0,0922	6773
		6,69		707,36		706,19	1,657				6036	0,0769	
		4,55		707,35		706,26	1,543	4,2			6479	0,0092	
		3,96		707,34		706,26	1,529	4,5			6539	0,0000	
		0,00		707,28		706,20	1,529	0,0	6539	7248			
Silber.	0,119	0,00	13	776,28	3	775,23	1,354	0,0	7383				
		10,17		777,12		775,95	1,508	38,9			6632	0,0850	8765
		8,50		776,78		775,63	1,483	17,7			6744	0,0738	
		7,26		776,54		775,48	1,367	9,4			7316	— 0,0047	
		0,00		776,44		775,35	1,406	0,0	7113				
Kupfer	0,887	0,00	26	851,45	5,3	850,04	1,659	0,0	12479				1750
		10,30		851,51		850,11	1,647	5,4		12423	12570		
Kupfer	0,364	10,04	27,5	867,03	5,5	865,54	1,721	2,7		13628	12780	0,0622	4264
		8,50		866,97		865,49	1,710	0,0		13698	12865	0,0608	
		8,03		866,98		865,52	1,687	1,9		13677	13042	0,0464	
		0,00		866,86		865,46	1,606	0,0	13698				
		0,00		866,87		865,49							
Kupfer	0,241	13,78	21	812,82	5	811,35	1,565	15,7		11225	10222	0,0894	6426
		9,79		812,45		811,29	1,430	13,8		11255	11190	0,0058	
		8,50		812,41		811,22	1,467	8,2		11307	10907	0,0354	
		7,54		812,25		811,12	1,393	2,4		11361	11485	— 0,0109	
		0,00		812,23		811,09	1,405	0,0	11384				
Gold	0,0276	3,96	14	538,85	4	538,00	1,580	142,0		6985	6329	0,0939	63260
		3,64		538,81		537,95	1,599	135,5		7391	6255	0,1537	

Digitized by Google

	s	F	P	L_1	p	l_1	a	t	q_1	q_2	q_3	$\frac{q_2 - q_3}{q_2}$	$\frac{R}{s}$
Gold	0,0276	2,45	14	538,71	4	537,96	1,394	137,9		7383	7173	0,0284	
		1,60		538,67		537,90	1,431	130,1		7408	6986	0,0570	
		0,00		538,56		537,87	1,280	0,0	7810				
Messing	0,143	13,78	30	712,48	10	710,64	2,589	179,5		9193	7724	0,1598	39175
		10,30		712,33		710,61	2,420	181,8		9155	8263	0,0974	
		10,04		712,02		710,38	2,309	167,4		9284	8663	0,0669	
		8,03		711,04		709,48	2,199	102,3		9861	9096	0,0776	
		5,00		710,42		708,95	2,074	27,7		10522	9645	0,0834	
		3,40		710,10		708,68	2,004	9,2		10686	9981	0,0660	
		2,00		709,98		708,58	1,976	2,3		10123	10747	0,0581	
		0,00		709,81		708,54	} 1,857	0,0	10767				
		0,00		709,79		708,45							
Eisen	0,169	6,69	50	817,09	12	815,33	2,159	91,4		20800	17604	0,1537	52006
		6,31		816,94		815,24	2,085	84,0		20677	18222	0,1187	
		4,70		816,54		814,88	2,037	47,9		20107	18654	0,0723	
		2,50		816,22		814,62	1,964	12,4		19361	19347	0,0007	
		0,00		816,00		814,40	1,965	0,0	19342				
Eisen, schwedisches .	0,0216	2,05	60,5	783,31	14,3	781,31	2,560				18048		
		1,95		790,92		789,03	2,395	137,6		23024	19287	0,1623	406900
		1,90		790,81		788,91	2,408	124,3		22798	19183	0,1585	
		1,75		790,47		788,59	2,384	90,6		22223	19380	0,1279	
		1,25		789,97		788,14	2,322	43,9		21426	19897	0,0714	
		0,60		789,60		787,80	2,285	8,3		20819	20220	0,0280	

Digitized by Google

Eisen, schwedisches .		0,00		789,45		787,71	2,234	0,0	20677				
		0,00		789,49		787,71							
Stahl	0,1293	5,10		778,32		776,22	2,705	137,3		20355	17187	0,1556	67973
		4,55		777,93		775,85	2,681	93,8		19883	17345	0,1277	
		3,85		777,52		775,57	2,514	65,4		19577	18494	0,0553	
		2,50		777,13		775,21	2,476	23,7		19125	18775	0,0183	
		0,00		776,92		775,01	2,464	0,0	18868				
Stahl	0,0502	4,32	60,0	752,96	20,0	751,06	2,530	183,2		21480?	15812		171080
		3,96		752,87		751,10	2,356	196,2		21641?	16974		
		2,50		751,54		749,81	2,307	39,0		19646	17336	0,1176	
		1,50		751,13		749,53	2,135	12,4		19352	18738	0,0317	
		0,00		750,98		749,41	2,082	0,0	19216				
		0,00		750,96		749,41							
Platin	0,329	9,60	30	669,32	15	668,51	1,212	105,1		15178	12380	0,1843	30395
		6,97		668,79		668,06	1,093	42,4		16336	13728	0,1596	
		5,69		668,55		667,92	0,943	35,6		16461	15903	0,0339	
		5,00		668,47		667,88	0,883	35,6		16461	16980	— 0,0315	
		3,96		668,31		667,74	0,854	15,2		16839	17572	— 0,0435	
		0,00		668,26		667,68	0,876	0,0	17120				
		0,00		668,24		667,65							
Platin	0,0940	6,31	26	748,36	12	747,49	1,164	177,0		13854	12028	0,1318	106383
		5,00		748,01		747,15	1,51	126,8		14781	12163	0,1771	
		4,18		747,39		746,68	0,951	75,0		15738	14723	0,0645	
		3,40		746,99		746,38	0,817	42,5		16339	17113	— 0,0474	
		2,30		746,86		746,25		22,8		16702	17127	— 0,0255	
		0,00		746,71		746,10	0,818	0,0	17124				

Digitized by Google

Diese Versuche zeigen, daſs der galvanische Strom immer eine temporäre Verringerung des Elasticitätscoëfficienten bewirkt; allein sie scheinen mir noch nicht genau genug, um daraus das Gesetz dieser Erscheinungen herleiten zu können.

Bei jedem Draht wurde der Elasticitätscoëfficient durch ein Mittel aus zwei Messungen bestimmt, die eine dieser Messungen vor und die andere nach der Wirkung des Stroms angestellt. Vergleicht man sie, so erhellt, daſs der Strom keine bleibende Veränderung in der Elasticität dieser Drähte hervorgebracht hat, denn die sehr kleine Elasticitätsverringerung, die man bei einigen bemerkt, kann dem Anlassen zugeschrieben werden, welches der Strom vermöge der Temperaturerhöhung bewirkt. An einem angelassenen Draht, durch den ich einen intensiven Strom unausgesetzt sechs Stunden lang hindurch leitete, habe ich nicht die geringste bleibende Veränderung bemerkt.

Von der Wirklichkeit dieser Action der Elektricität kann man sich auch mittelst des Longitudinaltons der Drähte überzeugen, denn wenn der Strom eine Verringerung des Elasticitätscoëfficienten bewirkt, muſs der Longitudinalton sich vertiefen; und dieſs geschieht in der That.

Drähte von $3^m,56$ wurden an beiden Enden eingespannt, mit der Säule und dem Galvanometer verbunden und dann durch sanftes Reiben in der Mitte zum longitudinalen Ertönen angeregt.

	Durchmesser mm.	Stromstärke	Zahl d. Längsschwingung.
Kupfer . . .	0,59	0,00	1058
		7,80	1041
Stahl	0,31	0,00	1358
		1,50	1326
		2,10	1313
Stahl	0,14	0,00	1403
		1,50	1391

Digitized by Google

Wie bekannt, bedarf es einer bedeutenden Temperaturerhöhung, um die Elasticitätscoëfficienten und die Mengen der Längsschwingungen merklich zu verringern. Nun sind die Durchmesser dieser Drähte so groſs in Bezug auf die Stärke der Ströme, daſs durchaus keine merkliche Temperaturerhöhung daraus entstehen kann. Ueberdieſs geht der Ton augenblicklich wieder in die Höhe, so wie man den Strom unterbricht; wenn aber die Vertiefung des Tons aus einer Erwärmung des Drahts entspränge, könnte er nur nach Maſsgabe, wie der Draht sich erkältete, in die Höhe steigen. Man kann also jene Vertiefung nur der eigenen Wirkung des galvanischen Stroms zuschreiben.

Endlich wurden folgende Versuche angestellt, um den Einfluſs des Stroms auf die Cohäsion zu bestimmen.

	Querschnitt d. Drahts	Belastung zum Zerreiſsen des Drahts pro Quadratmillimeter		Stärke des Stroms
		ohne Strom	mit Strom	
Gold	0,0276	12,2	7,6	3,64
Eisendraht, schwed. .	0,0216	114—118	110,0	1,20
	—		99,0	2,00
dito gewöhnl.	0,169	59,2	60,5	5,00
Stahl	0,0508	102,0	102,0	2,50
	—		99,5	4,18
Stahl	0,1293	89,1	80,6	4,55

Der Strom bewirkt hier also eine Verringerung der Cohäsion; allein es ist hier kaum möglich zu unterscheiden, ob man diese Verringerung der eigenen Wirkung desselben oder der sie begleitenden Erwärmung zuzuschreiben habe.

Es bleibt nun noch zu untersuchen, welchen Einfluſs die Magnetisirung auf die Elasticität des Eisens ausüben könne.

Bisher hat man keine Versuche gemacht, welche diese Frage aufklären könnten. Hr. Lagerhjelm hat nur beobachtet, daſs das Eisen beim Abreiſsen stark magnetisch

Digitized by Google

wird, daſs die Magnetisirung sich vor allem an der Stelle des Abreiſsens äuſsert, und daſs diese Eigenschaft dem weichen Eisen im höheren Grade zukommt als dem harten [1]). Wir wissen übrigens, wie leicht das Eisen sich magnetisirt, wenn es gedreht, gehämmert u. s. w. wird; allein die umgekehrte Aufgabe ist noch nicht behandelt.

In einer früheren Abhandlung haben wir gezeigt [2]), daſs ein Stahlstab, wenn er nach der Methode des Doppelstrichs magnetisirt wird, seine Elasticität nicht ändert. Es schien uns indeſs interessant, uns zu überzeugen, ob die starke Magnetisirung, welche man in weichem Eisen mittelst des galvanischen Stroms hervorbringen kann, auch keine merkliche Wirkung habe.

Ein Kupferdraht von mehr als 1 Millimeter Durchmesser, mit Baumwolle besponnen, wurde schraubenförmig auf zwei Glasröhren von 80 Centm. Länge gewunden, jede Röhre solchergestalt ihrer ganzen Länge nach mit einer doppelten Lage Draht, bestehend aus 900 Windungen, bedeckt.

Diese beiden Röhren mit ihren Schraubendrähten *A* wurden darauf parallel auf einem Brette befestigt, und die beiden Schraubendrähte mit einander verknüpft, so daſs sie ein Strom in gleichem Sinne durchlief; durch Einschaltung eines anderen Drahts konnte man es aber auch so einrichten, daſs der Strom die Schraubendrähte in entgegengesetztem Sinne durchlief, d. h. den einen von der Rechten, und den andern von der Linken.

Der Eisendraht *B*, den man dem Versuch unterwerfen will, wird so gekrümmt, daſs er ein Hufeisen bildet, an dem jeder Schenkel 1 Meter lang ist. Die beiden parallelen Schenkel gehen frei durch die beiden Röhren; oben sind sie in einem unbeweglichen Schraubstock *C* eingespannt, und unten tragen sie zwei kleine Schraubstöcke *D*, die mit Kupferhaken versehen sind, um daran die Gewichte zu hängen.

1) Lagerhjelm in dem S. 5 citirten Werke.

2) S. 70.

Ich hatte gehofft, somit dieselbe Wirkung wie mit kurzen Hufeisen zu bekommen, d. h. daſs einer der Schenkel nordpolar und der andere südpolar werde, um den Einfluſs beider Magnetismen auf die Elasticität zu unterscheiden.

Allein das Resultat entsprach nicht meiner Erwartung. In so dünnen Drähten, wie ich sie anwenden muſste, um mittelst Gewichte hinreichende Verlängerungen zu bewirken, erstreckte sich der Einfluſs nicht weit über den in der Spirale enthaltenen Theil, so daſs jeder der beiden Schenkel, für sich magnetisirt, seine beiden Pole hatte. Mithin erhält man, wenn der Strom die beiden Spiralen in gleichem Sinne durchläuft, einen Hufeisenmagnet, der an seinen beiden Enden zwei homologe Pole hat, und wenn er zwei ungleichnamige Pole haben soll, muſs man den Strom die beiden Spiralen in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen lassen. Die Mittellinien liegen überdieſs nicht in der Mitte der Schenkel; der gröſste Theil des Schenkels, der in dem rechtsgewundenen Strom liegt, ist nordpolar, während der Schenkel in dem linksgewundenen südpolar ist.

Davon kann man sich überzeugen, wenn man längs den Spiralen, wenn sie vom Strom durchflossen werden, eine Magnetnadel fortführt, oder auch wenn man die Drähte, nachdem sie aus den Spiralen genommen worden, untersucht; denn da ihre Coërcitivkraft nicht ganz Null ist, so bewahren sie immer einen Theil ihres Magnetismus. Wenn also die beiden Magnetismen eine verschiedene Wirkung auf die Elasticität haben, so werden die beiden Schenkel entgegengesetzte Wirkungen geben. Nichts der Art findet aber statt. Die beiden Schenkel geben zwar oft numerisch verschiedene, aber nicht entgegengesetzt gerichtete Resultate.

Um diese Versuche mit aller wünschenswerthen Genauigkeit zu machen, müſste man einen Apparat haben, der erlaubte, Messungen zu machen an einem groſsen Hufeisen, das nicht bloſs an seinen beiden Schenkeln,

Digitized by Google

sondern seiner ganzen Erstreckung nach mit einem Schraubendraht umgeben wäre. Trotz der Unvollkommenheit meines Apparats scheinen mir indeſs die folgenden Versuche interessant. Nach dem vorwaltenden Magnetismus nennen wir Nordschenkel den Theil, der in der rechtsgewundenen Spirale befindlich war, und Südschenkel den anderen. Bemerken wir überdieſs, daſs der Leitdraht dem zum Versuch genommenen Eisendraht keine Temperaturerhöhung mittheilen konnte, da der erstere schon zu dick war, um durch die angewandten Ströme merklich erwärmt zu werden.

Die in der folgenden Tafel aufgeführten Verlängerungen sind sämmtlich das Mittel von zwei oder drei Messungen, die nur sehr wenig von einander abweichen. Wir bezeichnen mit *P* die angewandte Belastung, um die elastische Verlängerung zu bewirken, mit *F* die Stromstärke im Moment des Versuchs, mit *T* die seit Schlieſsung der Kette verflossene Zeit, oder auch, wenn kein Strom statthatte, die seit Unterbrechung des Stroms verflossene Zeit, endlich mit *Ab* und *Aa* die elastischen Verlängerungen des Nord- und Südschenkels pro Meter, ausgedrückt in Millimeter.

P	*F*	*T*	*Ab*	*Aa*
Weicher	Eisendraht.	Durchmesser	$0^{mm},755$.	
22,32	0,00		1,272	1,254
-	5,20	1^h 30'	1,230	1,314
-	-	24 0	-	1,266
-	4,55	0 30	1,356	1,284
-	5,00	1 0	1,305	1,284
-	0,00	24 0	1,368	1,272
Weicher	Eisendraht.	Durchmesser	$2^{mm},180$.	
33,22	0,00		2,062	2,110
-	8,90	2 0	2,100	1,096
Weicher	Eisendraht.	Durchmesser	$2^{mm},141$.	
25,46	0,00		1,257	1,269
-	5,00	1 30	1,281	1,318
-	3,40	1 15	1,305	1,288
-	0,00	24 0	1,293	1,281

P	F	T		Ab	Aa
Stahldraht. Durchmesser 0mm,166.					
36,87	0,00			2,060	2,089
-	4,18	0h	30′	2,053	2,171
-	-	1	0	2,089	2,242
-	-	24	0	2,100	2,136
-	2,50	1	0	2,136	2,218
-	0,00	24	0	2,094	2,195
Weicher Eisenstreifen, 2mm,210 breit, 0mm,372 dick.					
18,22	0,00			1,002	0,948
-	6,31	0	5	1,008	-
-	-	1	0	1,056	1,014
-	3,40	2	0	1,032	0,996
-	-	24	0	-	0,996
-	6,69	1	0	1,068	1,008
-	5,00	2	30	0,996	-
-	-	2	0	1,008	-
Ein ähnlicher Streifen.					
27,95	0,00			1,452	1,464
-	5,00	0	5	1,464	-
-	-	0	30	1,482	1,518
-	3,40	2	30	1,500	1,548
-	1,00	6	0	1,464	1,560
-	-	24	0	1,512	1,524
-	6,69	24	30	1,506	1,500
-	4,60	2	30	1,536	1,548
-	0,00	2	0	1,494	1,542

Sehr dünne Eisendrähte haben mir kein Resultat gegeben.

Ueberblickt man diese Versuche, so wird man bemerken, daſs durch die mehre Stunden lang fortgesetzte Wirkung des Elektro-Magnetismus die Verlängerungen immer vergröſsert sind, und folglich der Elastitätscoëfficient verringert ist. Zwar sind diese Unterschiede nur sehr klein, aber sie überschreiten doch die Gränzen der möglichen Fehler, und sind immer in gleichem Sinn. Die 24 Stunden nach der Unterbrechung des Stroms gemachten Versuche zeigen, daſs die Drähte nicht ganz auf ihre ursprüngliche Elasticität zurückkommen.

Nach einer kurzen Wirkung des Stroms ist keine Abänderung der Elasticität merklich, wiewohl der Magnetismus sich im weichen Eisen augenblicklich entwickelt.

Digitized by Google

Es scheint also, als wirke die Magnetisirung nicht direct auf die Elasticität, sondern es stelle sich unter ihrer Einwirkung eine andere Anordnung der Molecule her.

Folgerungen.

1) Der galvanische Strom bewirkt in den von ihm durchlaufenen Metalldrähten eine momentane Verringerung des Elasticitätscoëfficienten, und zwar vermöge seiner eigenen Wirkung, unabhängig von der Verringerung, welche durch die Temperatur-Erhöhung entsteht. Diese Verringerung verschwindet gänzlich mit dem Strom, wie lange er auch gewirkt haben mag.

2) Die Gröſse dieser Verringerung hängt ab von der Stärke des Stroms, und wahrscheinlich auch von dem Widerstand, welches das Metall seinem Durchgang entgegensetzt.

3) Die Cohäsion der Drähte wird durch den Strom verringert; die Veränderlichkeit dieser Verringerung erlaubt indeſs nicht zu unterscheiden, ob sie eine eigene Wirkung des Stromes sey, oder nur eine Folge der Temperatur-Erhöhung.

4) Die Magnetisirung, die südliche wie die nördliche, welche durch andauernden Durchgang eines elektrischen Stroms erregt wird, bewirkt im weichen Eisen und im Stahl eine kleine Verringerung des Elasticitätscoëfficienten; und diese Verringerung verbleibt zum Theil sogar nach der Unterbrechung des Stroms.

Berichtigung. S. 112, Z. 5 v. unten, l. Durchmesser $0^{mm},141$ statt $2^{mm},141$.

Digitized by Google

IV. *Notiz über die Elasticität und Cohäsion verschiedener Glassorten; von den HH. E. Chevandier u. Wertheim.*

(*Comp. rend. T. XX, p.* 1637.)

Ueber die mechanischen Eigenschaften des Glases hat man noch wenig Untersuchungen angestellt, ohne Zweifel wegen der kleinen Zahl von Anwendungen, zu welchen deren Resultate dienlich seyn könnten; wir haben in dieser Beziehung nur die Zahlen der Versuche von Savart und den HH. Colladon und Sturm.

Die HH. Colladon und Sturm geben für den Elasticitätscoëfficienten eines Glasstabes von unbekannter Herkunft die Zahl 10000. Wir haben die aus Savart's Versuchen hervorgehenden Zahlen berechnet; sie schwanken von 6009 bis 6055. Nicht geringer sind die Unterschiede für die Schallgeschwindigkeit. Nach Savart schwankt sie von 15,39 bis 16,28; nach Chladni wäre sie 17.

Allein diese Physiker haben versäumt, die Art des untersuchten Glases und den Genauigkeitsgrad der Kalibrirung der von ihnen angewandten Stäbe anzugeben. Die letztere Betrachtung ist von höchster Wichtigkeit bei diesen Versuchen; denn wir haben vom Anbeginn unserer Versuche dargethan, daſs die runden, ausgezogenen Stäbe, welche man für gewöhnlich anwendet, hinreichende Unterschiede zeigen, um die Verschiedenheit der eben angeführten Resultate zu erklären.

In der That haben wir aus Fenster- und aus Tafelglas Stäbe von 10 bis 12 Meter Länge ziehen lassen, und von denselben die regelmäſsigsten Stücke von 1 bis 2 Meter Breite ausgewählt. Zehn dieser Stücke aus Fensterglas haben uns für die Schallgeschwindigkeit Zahlen geliefert, die von 14,75 bis 17,19 schwankten. Sechs der-

8*

Digitized by Google

gleichen Stäbe von Tafelglas gaben uns Zahlen, die von 14,04 bis 17,41 gingen.

Um zu sehen, ob diese Unterschiede vom Kaliber herrührten, haben wir einen Theil dieser runden Stäbe in vollkommen regelrechte quadratische verwandelt, mittelst einer Maschine von groſser Genauigkeit, die uns zu Gebote stand. Dadurch sind wir zu Resultaten gelangt, die nur noch für das Fensterglas von 16,58 bis 16,76, und für das Tafelglas von 15,70 bis 16,02 schwankten.

Wir müssen dabei bemerken, daſs es, um Glasstäbe solchergestalt zu kalibriren, unumgänglich ist, sie vorher anzulassen, was überdieſs, wenn es mit Sorgfalt geschieht, den Vortheil hat, die Stäbe hinsichtlich der Schallgeschwindigkeit unter identische Umstände zu versetzen. Wir haben diesen Umstand benutzt, um den Einfluſs des Anlassens auf die Dichtigkeit und Elasticität des Glases zu erforschen.

Die zu diesen Untersuchungen angewandte Methode ist beinahe dieselbe, welche der Eine von uns in seinen Abhandlungen über die mechanischen Eigenschaften der Metalle und Legirungen beschrieben hat.

Wir haben die Dichtigkeit jedes Stabes vor und nach dem Anlassen bestimmt, die Zahl der Längsschwingungen ermittelt, und daraus vermittelst der bekannten Formeln die Schallgeschwindigkeit und den Elasticitätscoëfficienten hergeleitet. Wir haben ferner gesucht, mittelst der durch eine gewisse Belastung bewirkten und mit dem Kathetometer gemessenen Verlängerung zu derselben Bestimmung zu gelangen. Allein die Steife des Glases, die Schwierigkeit, die Stäbe in vollkommen senkrechter Richtung zu befestigen, und die Kleinheit ihrer elastischen Verlängerung machen diese Versuche sehr schwierig.

Beim Studium der Längsschwingungen haben wir eine interessante Thatsache beobachtet, nämlich die Leichtigkeit, mit welcher im Glase die tiefe Octave des Tons entsteht, welcher dem seiner ganzen Länge nach schwin-

Digitized by Google

genden Stabe angehört. Dieser Ton, welcher, nach Savart, aus dem Beisammenseyn von Längs- und Querschwingungen hervorgeht, entsteht oft mit solcher Intensität, daſs die Stäbe bloſs vermöge ihrer Schwingungen zerbrechen, selbst an den Stellen, die man nicht berührt.

Unsere Versuche erstreckten sich auf 26 vollkommen gerade und kalibrirte Stäbe, von verschiedener Länge, Dicke und Zusammensetzung. Sie gaben im Mittel folgende Zahlen:

	Dichtigkeit vor d. Anlassen.	Dichtigkeit nach d. Anlassen.	Schallgeschwindigkeit.	Elasticitätscoëfficient.	Widerstand b. Abreiſsen durch Dehnung.
Fensterglas aus d. Hütte v. Saint-Quirin	2,517	2,523	16,698	7917	1,763
Spiegelglas aus d. Hütte v. Cirey .	2,454	2,467	15,899	7015	1,400
Ungefärbtes, bleifreies Krystallglas (verre à gobleterie) aus d. Hütte v. Valerysthal	2,446	2,450	15,805	6890	1,002
Weiſses u. farbig. Krystallglas aus d. Hütte v. Baccarat	3,320	3,324	12,099	5477	0,665

Aus diesen Versuchen glauben wir nachstehende Folgerungen ziehen zu können:

1) Alle Glassorten erhöhen durch das Anlassen ihre Dichtigkeit im Mittel um 1,0045. Dieſs kann vielleicht dazu dienen, die Unterschiede gleicher Ordnung zu erklären, welche Hr. Deville hinsichtlich der Dichtigkeit zwischen einer glasigen Lava und dem daraus durch Schmelzung erhaltenen Glase zu erklären; denn die Erkaltung einer Lava kann im Vergleich zu der einer kleinen Glasmasse als sehr langsam betrachtet werden.

2) Der Elasticitätscoëfficient nimmt zugleich mit der Dichtigkeit zu.

Digitized by Google

3) Für eine und dieselbe Glasart verhalten sich die Längsschwingungen genau umgekehrt, wie die Längen. Dieses von einigen Gelehrten bezweifelte Gesetz scheint uns durch unsere Versuche wohl erwiesen zu seyn, da sie mit einer so homogenen Substanz wie Glas, und mit Stäben von solcher Länge, daſs sie relativ tiefe und leicht mit Genauigkeit bestimmbare Töne gaben, angestellt wurden.

4) Die Verlängerungen führen zu kleineren Elasticitätscoëfficienten, als sich aus den Schwingungen ergeben.

5) Es giebt weder in Dichtigkeit, noch in Elasticität einen Unterschied zwischen dem ausgezogenen und gegossenen Glase, sobald es angelassen ist.

6) Die verschiedenen Glassorten stehen hinsichtlich ihres Elasticitätscoëfficienten und ihres Widerstands beim Reiſsen in gleicher Ordnung. — Ohne die mechanischen Eigenschaften der Gläser zu kennen, ist man durch die Praxis darauf geführt, das elastischste und härteste Glas zu Fensterscheiben, und das darauf folgende zu Spiegeln zu nehmen, während man zu Gegenständen von geringeren Dimensionen die Gläser anwendet, welche diese Eigenschaften in geringerem Grade besitzen.

7) Das Blei verringert merklich die Elasticität und die Cohäsion des Glases. Es wirkt also auf die Gläser wie auf die Legirungen.

8) Die violette Färbung durch Mangan erhöht die Elasticität des gewöhnlichen Glases; das Krystallglas dagegen ändert durch die violette, blaue und grüne Färbung mittelst Mangan, Kobalt und Kupfer seine mechanischen Eigenschaften nicht merklich.

Digitized by Google

V. *Ueber die Spannkraft des Wasserdampfs;* *von Hrn. V. Regnault.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p.* 273.)

Die theoretische Berechnung der von Dampfmaschinen geleisteten Arbeit erfordert die Kenntniſs einer gewissen Anzahl physikalischer Gesetze und Angaben, die bisher noch bei weitem nicht sicher festgestellt worden sind. Die hauptsächlichsten dieser Daten sind:

1) Die Spannkraft des Wasserdampfs für verschiedene Temperaturen.

2) Die Wärmemenge, die in einem gegebenen Gewicht Wasserdampf, bei Sättigung, unter verschiedenem Druck enthalten ist, oder genauer diejenige, welche ein Kilogramm Wasserdampf bei *Sättigung* unter verschiedenem Druck abgiebt, wenn es auf flüssiges Wasser von 0° zurückgeführt wird.

3) Die specifische Wärme des flüssigen Wassers für verschiedene Temperaturen.

4) Die Dichtigkeit des Wasserdampfs bei Sättigung unter verschiedenem Druck.

Das erstere dieser Gesetze, das der Spannkraft des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen, ist das einzige, welches bisher durch die schönen Versuche der HH. Dulong und Arago auf eine genaue Weise festgesetzt wurde [1]). Die übrigen können als gänzlich unbekannt betrachtet werden. Die in der Praxis gebräuchlichen sind nach bloſser Induction angenommen, indem man die für die Gase angenähert bekannten Gesetze auf die Dämpfe anwandte, oder dieselben nach empirischen Resultaten, welche fast immer aus unvollständigen und

1) Die Arbeit von Magnus (Ann. Bd. 61, S. 225) war dem Verfasser zur Zeit, da er diese Abhandlung schrieb, noch nicht bekannt. *P.*

und unsichern Versuchen abgeleitet waren, ein wenig abänderte.

Der unbestreitbare Nutzen, welchen die Vervollkommnung unserer Kenntnisse von der Theorie der Dämpfe darbietet, hat mich veranlaſst, an die Lösung dieser verschiedenen Aufgaben zu gehen, deren Schwierigkeiten mir zwar nicht unbekannt sind, mir aber doch nicht unübersteiglich scheinen. An der Ausführung dieses Projectes würde ich durch die bedeutenden Kosten der Apparate gänzlich verhindert worden seyn, wenn nicht der Hr. Minister der öffentlichen Arbeiten, auf den Antrag der Centralcommission für Dampfmaschinen, mit einer Gewogenheit, die alle Freunde der Wissenschaften zu würdigen wissen werden, die hiezu nöthigen Geldmittel zu meiner Verfügung gestellt hätte.

Ich habe mir vorgenommen, nach und nach in einer Reihe von Abhandlungen die bei diesen Untersuchungen erlangten Resultate zu veröffentlichen, ohne mich jedoch dabei an eine bestimmte Ordnung zu binden, mir vorbehaltend, später, wenn die Untersuchungen hinlänglich vorgerückt sind, das Ganze meiner Arbeit zusammenzufassen.

In dieser ersten Abhandlung beschäftige ich mich mit der Spannkraft des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen.

Die Spannkräfte des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen haben eine so groſse Zahl von Physikern beschäftigt, daſs man glauben könnte, es müſsten über die numerischen Werthe nur noch geringe Unsicherheiten vorhanden seyn. Dem ist aber nicht so, wovon man sich durch den Vergleich der von den verschiedenen Experimentatoren veröffentlichten Resultate leicht überzeugen kann; man bemerkt groſse Unterschiede, selbst innerhalb der atmosphärischen Temperaturen, und es ist unmöglich zu unterscheiden, welche Zahlen den Vorzug verdienen. Ich werde mich nicht bei der Geschichte dieser Untersuchungen aufhalten, da die wich-

Digitized by Google

tigsten derselben allen Physikern bekannt sind; ich werde sogleich zur Auseinandersetzung meiner eignen Versuche übergehen.

Um ein physikalisches Datum mit einiger Genauigkeit festzustellen, reicht es nicht hin, dasselbe durch eine einzige experimentelle Methode aufzusuchen. Steht das so erhaltene Resultat im Widerspruch mit denen, die schon in der Wissenschaft vorhanden sind, so ist es oft schwer zu entscheiden, welches den Vorzug verdiene; man hat dann, um sich bei der Auswahl leiten zu lassen, nur die mehr oder weniger günstige Meinung, die man etwa von dem angewandten Verfahren hegt, oder das mehr oder weniger groſse Zutrauen, welches die Geschicklichkeit des Experimentators einflöſst. Es ist nothwendig, die Versuche nach verschiedenen Methoden anzustellen, sogar die Verfahrungsweisen anzuwenden, welche von den früher mit derselben Aufgabe beschäftigt gewesenen Physikern angewandt wurden, wenigstens wenn sie nicht gänzlich fehlerhaft sind. Man muſs sehen, ob alle diese Resultate, bei zweckmäſsiger Ausführung, zu demselben Resultate führen, oder, wenn dem nicht so ist, muſs man durch directe Versuche beweisen, worin die Fehlerquelle der früheren Methoden lag.

Dieser Weg ist nothwendig lang und mühsam, aber er allein scheint mir geeignet, sichere, durch spätere Versuche nicht mehr in bedeutender Weise abgeändert werdende Zahlenwerthe in die Physik einzuführen. Ich habe gesucht, diese Methode bei meinen Versuchen über die Wärmecapacität der Körper und über die Ausdehnung der elastischen Flüssigkeiten zu befolgen, und man wird sie auch bei den Untersuchungen antreffen, die ich gegenwärtig über die Spannkräfte der Wasserdämpfe veröffentliche.

I. Fast alle Versuche, welche die Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfs bei niederen Temperaturen zum Zweck hatten, sind so angestellt worden, daſs

Digitized by Google

man zwei Barometer in ein und dasselbe Quecksilbergefäſs stellte, und in das Vacuum des einen eine kleine Portion Wasser brachte. Der Höhenunterschied dieser beiden, sonst unter gleiche Umstände versetzten Barometer giebt die Spannung des Wasserdampfs für die jeweilige Temperatur. Die gröſste Unsicherheit bei diesem Verfahren liegt in der Schwierigkeit, die Temperatur zu bestimmen, welche der beobachteten Spannung entspricht. Die meisten der Physiker, welche diese Methode innerhalb der Gränzen der atmosphärischen Temperaturen anwandten, begnügten sich damit, neben den Barometern, in der Höhe der Kammer, ein Quecksilber-Thermometer aufzuhängen, dessen Angaben sie als die der Spannung entsprechenden Temperatur betrachteten. Solchergestalt hat Kaemtz zwei Jahre hindurch eine lange Reihe von Beobachtungen der Spannkräfte zwischen — 19° und + 26° angestellt [1]).

Dasselbe Verfahren wurde von mehren Physikern für Temperaturen höher als die der Atmosphäre angewandt. In diesem Fall waren die beiden Barometer von einer mit Wasser gefüllten Glashülle umschlossen, deren Temperatur successiv erhöht ward. Dalton brachte das feuchte Barometer in eine zweite Röhre, verschloſs diese unten durch einen das Barometer durchlassenden Kork, und füllte den Zwischenraum beider Röhren mit Wasser, welches folgweise auf verschiedene Temperaturen gebracht ward. Dieſs Verfahren ist nur wenig Genauigkeit fähig, denn es ist unmöglich, eine flüssige Säule von einiger Höhe in gleichförmiger Temperatur zu erhalten, ohne die Flüssigkeit beständig umzurühren, und bei den Versuchen von Dalton war kein Mittel vorhanden, die Temperatur so lange stationär zu erhalten, daſs die Quecksilbersäule mit der umgebenden Flüssigkeit in Temperaturgleichgewicht kam.

Ich habe nach dieser Methode einige Versuche ge-

1) Lehrbuch der Meteorologie, Bd. 1, S. 290.

Digitized by Google

macht, um zu sehen, bis wie weit sie genaue Resultate gebe.

Ein trocknes und ein benäſstes Barometer, beide in ein und dasselbe Quecksilbergefäſs getaucht, wurden an einem vollkommen lothrechten und in Centimeter getheilten Metallstab aufgerichtet. Das Quecksilbergefäſs stand in einem guſseisernen Topf von 26 Centm. Durchmesser, auf dessen Boden eine 6 bis 7 Centm. hohe Quecksilberschicht gegossen war, die sich nicht mit dem Quecksilber des barometrischen Gefäſses mischen konnte. Eine Glashülle von 23 Centm. Durchmesser und 1 Meter Höhe umgab beide Barometer. Diese Hülle wurde mit Wasser gefüllt; dasselbe drückte das Quecksilber im Topf hinab, und zwang es, in dem ringförmigen Raum zwischen der Hülle und der Innenwand des Topfs emporzusteigen. Ein Quecksilber-Thermometer hing im Wasser der Hülle neben den barometrischen Kammern; endlich erlaubte ein auf- und abzuführender Rührstab mit Flügeln das Wasser der Hülle seiner ganzen Höhe nach umzurühren. Der Topf stand auf einem eisernen Dreifuſs, unter welchen ein Ofen gestellt wurde, um die Temperatur des Wassers langsam zu heben. Die Spannkraft des Wasserdampfs ward in jedem Fall durch den Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen gegeben, nachdem der Stand des benäſsten Barometers wegen der dünnen Wasserschicht auf demselben berichtigt worden.

Das in das Barometer gebrachte Wasser muſs vollkommen luftfrei seyn. Um diese Bedingung zu erfüllen, nahm ich aus dem wohl ausgekochten und an dem offenen, etwas ausgezogenen Ende des noch heiſsen Barometers eine kleine Menge Quecksilber fort, und ersetzte es durch siedendes Wasser, welches eine halbe Stunde lang ausgekocht worden war. Ich setzte dann sogleich einen Finger auf die Oeffnung, und kehrte das Barometer um. Um mich zu überzeugen, daſs die Bedingung der Einführung von luftfreiem Wasser wirklich erfüllt sey, lieſs ich das

Digitized by Google

Barometer bis zum andern Morgen stehen, und neigte es dann rasch, um das barometrische Vacuum zu vernichten. Wie wenig Luft auch in der Kammer geblieben war, so gewahrte man doch ein Bläschen, das einige Zeit verweilte, bis es vom Wasser wiederum gelöst ward. Erst nach mehren fruchtlosen Bemühungen gelang es, feuchte Barometer luftfrei darzustellen.

Der Höhenunterschied beider Säulen wurde durch ein Kathetometer gemessen. Die Anwendung dieses Instruments kann hier zu bedeutenden Fehlern Anlaſs geben, wenn man nicht die Ablenkungen berichtigt, welche die Strahlen, vermöge der Unregelmäſsigkeiten des geblasenen Glases der Hülle, durch Refraction erleiden. Um diese Ablenkungen kennen zu lernen, und sie nach Bedürfniſs zu berichtigen, sind die beiden Barometer der Länge nach mit einer lothrechten, in Centimeter getheilten Metallleiste versehen. Man miſst die Abstände dieser Theilstriche mit dem Kathetometer, wenn die Hülle noch nicht dazwischen gesetzt ist; man thut dasselbe, nachdem die Hülle hingestellt und mit Wasser gefüllt ist, und versichert sich, ob die Striche noch dieselben Abstände haben. Im Fall die Abstände nur wenig geändert worden, ist es leicht, die Verschiebungen in Rechnung zu ziehen, und darnach die beobachteten Höhen zu berichtigen. An meinem Apparat zeigte die Glashülle sehr groſse Unregelmäſsigkeiten, und ich hielt es nicht für räthlich, mich derselben zu bedienen, da an den beobachteten Höhen sehr bedeutende Berichtigungen hätten angebracht werden müssen, und sie folglich eine groſse Unsicherheit mit sich geführt haben würden.

Ich nahm statt der Glashülle eine Blechhülle von gleichem Durchmesser, unten cylindrisch und oben in einem quadratischen Kasten endend, an dem zwei gegenüberstehende Seiten durch zweckmäſsig gewählte Plangläser gebildet waren. Die auf der Leiste gezogenen Striche hatten nun denselben scheinbaren Abstand, sie

mochten geradezu oder durch das Wasser der Hülle betrachtet werden.

Um die Temperatur zu erhöhen, stellte man einen Ofen unter den Topf, und rührte das Wasser der Hülle von Zeit zu Zeit um. Wenn man der Temperatur, bei welcher man beobachten wollte, nahe kam, so nahm man den gröſsten Theil der Kohlen fort, und rührte das Wasser in der Hülle fortwährend um, bis das neben der barometrischen Kammer befindliche Thermometer nicht mehr stieg; dazu war eine sehr lange Zeit erforderlich; im Moment des Maximums maaſs man den Höhenunterschied beider Säulen. Um einen zweiten Versuch anzustellen, brachte man wieder brennende Kohlen in den Ofen, so daſs das Thermometer abermals zum Steigen kam; sobald dieſs der Fall war, nahm man die Kohlen fort, und verfuhr wie vorhin. So erhielt man zwei Bestimmungen für sehr benachbarte Temperaturen.

Diese Methode giebt sehr genaue Resultate für gleiche oder wenig höhere Temperaturen, als die der Umgebung; allein sie ist nicht mehr streng für etwas höhere Temperaturen. Das Wasser zertheilt sich dann leicht in Schichten von verschiedener Temperatur, und die Gleichförmigkeit der Temperatur erreicht man nur durch ein fortwährendes und rasches Umrühren; sobald dieses aufhört, um dem Beobachter die Messung des Höhenunterschiedes der Quecksilbersäulen zu erlauben, beginnt sogleich die Sonderung der Schichten, und die Bestimmungen wurden unsicher. Nach dieser Methode habe ich über die Spannkraft des Wasserdampfs zwischen $+10^{\circ}$ und $+30^{\circ}$ C., Temperaturen, die sich in jedem Fall nur wenig von der der Umgebung entfernten, eine ziemlich groſse Zahl von Bestimmungen gemacht. Ich bringe sie hier nicht bei, da sie identisch sind mit denen, die ich weiterhin geben werde, und, meiner Meinung nach, mit zweckmäſsigern Apparaten angestellt sind.

Eine andere Reihe machte ich mittelst des Apparats

Digitized by Google

von zwei Barometern, einem trocknen und einem benäſsten, wobei die beiden Quecksilbersäulen nicht mehr ihrer ganzen Länge nach erhitzt wurden.

Zwei möglichst ähnliche Barometer von 14 Millimet. innerem Durchmesser sind neben einander an einem Brette PP' aufgestellt (Taf. II, Fig. 1). Diese Barometer gehen durch die beiden Tubulaturen ab eines Kastens von verzinktem Eisenblech $VV'V''$, und werden in denselben mittelst Kautschuck festgehalten. Der Kasten $VV'V''$, dessen horizontaler Durchschnitt in Fig. 3 dargestellt ist, hat an einer seiner Seiten eine rechteckige Oeffnung $EFGH$, um welche ein eiserner Rahmen befestigt ist. An diesem Rahmen wird vermittelst eines zweiten, dem ersteren ähnlichen Rahmen $E'F'G'H'$ ein Parallelglas gelegt, und daran mittelst einer Schraube befestigt. Eine nach der Form dieser Rahmen geschnittene Kautschucktafel wird zwischen das Glas und den Rahmen $EFGH$ gelegt, um den Verschluſs dicht zu machen. Diese Einrichtung gestattet, das Glas fortzunehmen und mit der gröſsten Leichtigkeit wieder einzusetzen. Die beiden Barometer tauchen in dieselbe Wanne U. Der Blechkasten faſst ungefähr 45 Liter, und steht auf einem eisernen Gestell $TT'T''$.

Um zu sehen, ob die Dazwischensetzung des Glases und des den Kasten füllenden Wassers eine Ablenkung der Lichtstrahlen bewirke, welche die Messung der Niveaux mittelst des Kathetometers fehlerhaft mache, zog ich zuvor auf das trockene Barometer, etwa in der Höhe, wo gewöhnlich das Quecksilber stehen blieb, einen horizontalen sehr feinen Strich, und auf das benäſste Barometer eine Theilung in Centimeter. Ich maaſs die Abstände des Merkstrichs am Barometer von allen folgenden Theilstrichen des benäſsten Barometers: 1) wenn das Glas nicht dazwischen war, 2) wenn es dazwischen und das Gefäſs mit Wasser gefüllt war. So erkannte ich, daſs die Dazwischensetzung des Glases und des Wassers oft eine ab-

Digitized by Google

solute Ablenkung der Strahlen von zuweilen bis 0,5 Millimeter bewirkte; allein die relativen Ablenkungen der Theilstriche des benäſsten Barometers in Bezug auf den Merkstrick am trocknen Barometer waren immer viel kleiner. Diese Ablenkungen, die einzigen, welche einen Einfluſs auf die Beobachtungen haben konnten, stiegen niemals über $0^{m},10$, waren vielmehr fast immer geringer, und oft ganz zu vernachlässigen. Man sah übrigens sorgfältig darauf, die Barometer genau lothrecht und dem Glase parallel zu stellen.

Der Kasten $VV'V''$ ist mit Wasser gefüllt, welches ein Gehülfe fortwährend umrührt. Er enthält ein sehr empfindliches Quecksilber-Thermometer, welches mit einem kleinen horizontalen Fernrohr beobachtet wird.

Der Beobachter richtet das Fernrohr des Kathetometers auf den Scheitel der Quecksilberkuppe des benäſsten Barometers. Im Moment der Beobachtung wird mit dem Umrühren eingehalten, und unmittelbar nachher wieder damit begonnen. Man hält abermals ein im Moment, wo der Beobachter nach der Kuppe des trocknen Barometers visirt. Somit ist das Wasser in einer fortdauernden Bewegung, die durch die Weite des Gefäſses sehr erleichtert wird.

Bei der Temperatur der umgebenden Luft lassen sich die Beobachtungen mit groſser Genauigkeit und beliebig oft anstellen. Bei höheren Temperaturen nimmt man mittelst eines Hebers einen Theil des kalten Wassers fort, und ersetzt es durch eine entsprechende Menge heiſses Wasser, stellt unter das Blechgefäſs eine Weingeistlampe, und nähert diese mehr oder weniger dem Boden, oder schraubt ihren Docht mehr oder weniger heraus, so daſs, bei fortwährender Umrührung des Wassers, die Temperatur vollkommen stillstehend bleibt. Diese Bedingung ist durch einiges Probiren leicht zu erreichen, und wenn die Temperatur des Wassers nicht 50° C. überschreitet, gelingt es, die Temperatur beliebig lang stationär zu er-

Digitized by Google

halten. Es ist nur nöthig, daſs das Umrühren des Wassers lebhaft und fortdauernd geschehe.

Bei einer und derselben stationär gewordenen Temperatur machte man drei oder vier Beobachtungen, in Zwischenräumen von 8 bis 10 Minuten zwischen zwei auf einander folgenden. Zuweilen lieſs man absichtlich zwischen zwei Beobachtungen die Temperatur des Bades um einige Hundertel steigen oder fallen, und machte dann durch gehörige Regelung der Lampe die Temperatur wieder stationär. Dadurch war es leicht zu erkennen, daſs die Bewegungen der Quecksilbersäule den geringsten Veränderungen des Thermometers folgten, und allemal, wenn das Thermometer dieselbe Temperatur zeigte, fand man auch dieselbe Spannung.

Bei diesem Verfahren werden die Quecksilbersäulen nicht ihrer ganzen Höhe nach erwärmt, aber die zum Gefäſs herausragenden Stücke befinden sich unter vollkommen einerlei Umständen. Der Höhenunterschied beider Säulen hat die Temperatur des Bades, und dieser Unterschied, auf Null reducirt, giebt die Spannung des Wasserdampfs.

Man kann indeſs sich fragen, ob die ganze mit Dampf erfüllte Kammer genau die Temperatur des Bades habe, ob nicht z. B. die Oberfläche des Quecksilbers, wegen ihrer Communication mit dem unteren, kälteren Quecksilber, eine etwas niedrigere Temperatur besitze. Letzteres würde sicher der Fall seyn, wenn man den Quecksilberspiegel bis nahe zum Boden des Gefäſses herabsinken lieſse, allein bei meinen Versuchen blieb derselbe immer mehre Decimeter darüber. Uebrigens schien es mir zweckmäſsig, mich von diesem Umstand durch einen directen Versuch zu überzeugen. Ich befestigte in den beiden Tubulaturen meines Gefäſses zwei unten geschlossene Röhren von 14 Millimeter innerm Durchmesser. Die oberen Oeffnungen dieser Röhren übersteigen das Niveau des Wassers im Gefäſs, und ihre geschlossenen Enden befanden sich in der Höhe des Quecksilberspiegels der Wan-

Digitized by Google

Wanne *U*. Eine dieser Röhren enthielt Quecksilber bis zu gleicher Höhe mit dem Quecksilberspiegel des wahren Barometers, dessen Stelle sie einnahm. Das Quecksilber im zweiten Rohre stieg bloſs bis zum niedrigsten Punkt, wo es sich, bei den Versuchen über die Spannkraft des Wasserdampfs, im benäſsten Barometer befunden hatte. Nachdem das Gefäſs VV' mit Wasser von der umgebenden Temperatur gefüllt worden, maaſs man nach Verlauf einiger Stunden den Niveau-Unterschied mittelst des Kathetometers; dann steigerte man die Temperatur successive bis 50° C., und maaſs dabei, nachdem die Temperatur, wie bei den eigentlichen Versuchen über die Dampfspannung, stationär gemacht worden, von Zeit zu Zeit die Niveaudifferenz der Säulen.

Die unter diesen verschiedenen Umständen beobachteten Niveaudifferenzen, durch Rechnung auf 0° reducirt, müſsten constant seyn, wenn die beiden Säulen gleichen Einfluſs in ihren entsprechenden Theilen erlitten hätten. Und in der That ergab es sich so, denn die Unterschiede übersteigen niemals $0^{mm},07$.

Nachdem das Wasser des Gefäſses auf 45° C. gebracht, und diese Temperatur mittelst der Lampe stationär gemacht worden, tauchte man ein sehr empfindliches Quecksilber-Thermometer in das Quecksilber der Röhre, welche diese Flüssigkeit im niedrigsten Niveau enthielt. Nach Verlauf von zwei bis drei Minuten zeigte es eine absolute stationäre Temperatur an; nun zog man es rasch aus der Röhre, und tauchte es in das Wasser des Gefäſses. Es war unmöglich, die geringste Temperatur-Erhöhung nachzuweisen, obwohl das angewandte Thermometer 0,02 eines Grades mit Sicherheit zu erkennen gestattete. Ein zweites, beständig im Wasser des Gefäſses gehaltenes Thermometer erlaubte übrigens nachzuweisen, daſs die Temperatur in der Zwischenzeit der beiden mit dem ersten Thermometer gemachten Beobachtungen sich nicht verändert hatte.

Digitized by Google

Der Quecksilberspiegel im benäſsten Barometer ist mit einer Wasserschicht von 3 bis 4 Millimeter Höhe bedeckt. Diese Schicht drückt, vermöge ihres Gewichts, den Quecksilberspiegel herab, allein andererseits strebt sie ihn, vermöge der Capillarwirkung, zu erhöhen. Miſst man mit dem Kathetometer den Abstand zwischen dem tiefſten Punkt des vom Wasser gebildeten concaven Meniskus und dem Scheitel des convexen Meniskus vom Quecksilber, und dividirt diesen Abstand durch 13,5, die Dichte des Quecksilbers gegen Wasser, so erhält man die kleine Quecksilberhöhe, die der also geschätzten Wassersäule gleichkommt. Der Capillareinfluſs des Wassers wurde durch einen directen Versuch bestimmt. An das obere Ende zweier Barometerröhren, die zu den vorhergehenden Versuchen gedient hatten, wurden Glasröhren von kleinem Kaliber geschmolzen, und diese in eine kleine dreiarmige Kupferröhre eingekittet. Der dritte Arm enthielt eine Glasröhre, die zu der Luftpumpe führte. Zwischen einer der Barometerröhren und der entsprechenden kupfernen Tubulatur befand sich ein U-Rohr, gefüllt mit schwefelsaurem Bimstein. Die beiden Barometer tauchten in eine und dieselbe Quecksilberwanne. Man pumpte den Apparat mehrmals aus, und lieſs wieder Luft hinein, um die mit dem schwefelsauren Bimstein communicirenden Röhrenwände zu trocknen; endlich pumpte man nochmals aus, und schmolz die mit der Luftpumpe communicirende Röhre vor der Lampe zu; dann versicherte man sich, daſs die beiden Säulen in Niveau seyen, und lieſs in eine der Röhren eine dünne Wasserschicht eintreten, ungefähr gleich der, die zu den Versuchen über den Dampf gedient hatte. So hatte man zwei unvollkommene Barometer, die mit einander communicirten, folglich einem gleichen innern Druck ausgesetzt waren; allein das eine Barometer war trocken, und das andere enthielt eine dünne Wasserschicht. Man wartete bis zum andern Morgen, um sicher zu seyn, daſs die beiden Säulen genau gleiche Tem-

Digitized by Google

peratur hätten; dann bestimmte man die Niveaudifferenz der beiden Quecksilber-Menisken und die Höhe der Wassersäule. Diese letztere Höhe, in Quecksilberhöhe verwandelt, würde den beobachteten Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen vorstellen, wenn in der Capillarwirkung keine Aenderung stattgefunden hätte. Der Effect dieser letzteren Ursache ward also gemessen durch den Höhenunterschied der beiden Quecksilber-Menisken, verringert um die auf Quecksilber reducirte Wassersäule. Dadurch ergab sich, daſs die benäſste Säule, berichtigt wegen des Gewichts der kleinen Wasserschicht, vermöge der Capillarwirkung des Wassers um $0^{mm},12$ gehoben war.

Die Tafel I enthält die auf diese Weise erlangten Resultate.

Tafel I.

Temperatur Therm. No. 7.	Dampfſpannung beobachtet, mm.	Dampfſpannung berechnet, mm.	Unterschied mm.	Temperatur Therm. No. 7.	Dampfſpannung beobachtet, mm.	Dampfſpannung berechnet, mm.	Unterschied mm.
9°,73 C.	9,03	9,002	+0,03	38°,09 C.	49,55	49,543	+0,01
9 ,73	9,05			40 ,28	55,73	55,733	0,00
11 ,64	10,27			40 ,28	55,67		
11 ,62	10,19	10,200	— 0,01	40 ,25	55,55		
11 ,62	10,23			46 ,20	75,76		
13 ,56	11,62	11,575	+0,05	46 ,24	75,96		
13 ,56	11,60			46 ,23	75,88	76,04	— 0,16
15 ,56	13,18	13,16	+0,02	51 ,39	98,29		
15 ,58	13,16			51 ,39	98,23	98,541	— 0,31
17 ,67	15,07			58 ,62	139,05		
17 ,68	15,13			58 ,56	138,81	139,119	— 0,31
17 ,68	15,05	15,052	0,00	58 ,49	138,25		
19 ,36	16,74	16,716	+0,02	21 ,08	18,66		
19 ,35	16,70			21 ,08	18,64	18,585	+0,06
21 ,41	18,94			21 ,08	18,62		
21 ,41	18,96	18,965	0,00	8 ,79	8,44		
21 ,41	19,00			8 ,79	8,44	8,454	— 0,01
23 ,66	21,74	21,736	0,00	8 ,79	8,46		
23 ,67	21,78			4 ,32	6,32		
23 ,66	21,76			4 ,33	6,30	6,239	+0,06
26 ,01	25,05			4 ,34	6,28		
26 ,02	25,07	25,059	+0,01	4 ,94	6,54		
26 ,02	25,07			4 ,97	6,54		
28 ,80	29,44	29,437	0,00	5 ,00	6,56	6,534	+0,03

Digitized by Google

Temperatur Therm. Nr. 7.	Dampfspannung beobachtet, mm.	Dampfspannung berechnet, mm.	Unterschied mm.	Temperatur Therm. No. 7.	Dampfspannung beobachtet, mm.	Dampfspannung berechnet, mm.	Unterschied mm.
28°,80 C	29,46			6°,15 C	7,06		
31 ,95	35,27	35,259	+ 0,01	6 ,17	7,10	7,081	+ 0,02
31 ,95	35,29			6 ,19	7,12		
34 ,79	41,29			6 ,22	7,14		
34 ,75	41,25	41,252	0,00	7 ,50	7,73	7,745	— 0,01
34 ,75	41,23			7 ,51	7,69		
38 ,09	49,51			7 ,52	7,71		
38 ,09	49,59						

II. Die zweite Reihe von Versuchen wurde mittelst des Apparats Taf. II, Fig. 1, 2, 3, angestellt. Ein etwa 500 Kubikcentimeter fassender Ballon *A* umschlieſst ein ganz mit frisch ausgekochtem Wasser gefülltes Kügelchen, und durch die angeschmolzene gekrümmte Röhre ist er an das dreiarmige Kupferstück *def* gekittet. In der Tubulatur *e* sitzt eingekittet ein krummes Rohr *egh*, gelöthet an den obern Theil einer Barometerröhre *ha*, welche durch die Tubulatur *a* des Blechgefäſses *VV'* geht. Durch die zweite Tubulatur *b* dieses Gefäſses geht ein wahres Barometer, welches in dieselbe Wanne *U* taucht. In der dritten Tubulatur *f* des dreiarmigen Kupferstücks *def* ist eine Röhre eingekittet, die zur Luftpumpe führt; doch wird auf dem Wege dahin ein mit schwefelsaurem Bimstein gefülltes Rohr *MN*, von etwa 1 Meter gesammter Länge, eingeschaltet.

Nachdem der Apparat so vorgerichtet ist, pumpt man ihn mehrmals leer, und läſst jedesmal die Luft langsam wieder eintreten, um damit die Röhre *MN* auszutrocknen. Nach 40 bis 50maliger Auspumpung kann man den Ballon als vollständig getrocknet betrachten; dann pumpt man ihn noch einmal, und zwar möglichst vollkommen aus. Die Luftpumpe, über die ich verfügte, brachte bei meinen ersten Versuchen das Vacuum schwierig unter 2 Millimeter herab, allein, nachdem sie gereinigt worden, gab sie oft das Vacuum bis auf 1 Millimeter.

Digitized by Google

Sobald das Vacuum möglichst vollkommen ist, verschlieſst man die Röhre *fl* vor der Lampe. Man umgiebt den Ballon *A* mit schmelzendem Eise, und miſst, nach einiger Zeit, den Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen mit dem Kathetometer. So hat man die Spannkraft der im Ballon zurückgebliebenen trocknen Luft bei 0° C. Nun nimmt man das Eis fort, erhitzt den Ballon durch einige Kohlen, die in einen Löffel mit gekrümmtem Stiel gelegt sind, und bringt das Kügelchen durch Ausdehnung des darin enthaltenen Wassers zum Bersten. Man umgiebt den Ballon aufs Neue mit schmelzendem Eise, und miſst nach Verlauf einiger Zeit den Höhenunterschied der beiden Menisken. Dieser Unterschied, verringert um den, der vor dem Bersten des Kügelchens zwischen den Höhen der beiden Menisken vorhanden war, giebt die Spannkraft des Wasserdampfs bei 0°. Man traf die Sorgfalt, diese Messungen, in Zwischenzeiten von 10 Minuten, hinreichend oft zu wiederholen, um sich zu überzeugen, daſs die Höhenunterschiede recht constant waren.

Um diese Bestimmungen bei höheren Temperaturen auszuführen, setzte man das Planglas in seinen Rahmen *EFGH*, füllte das Gefäſs mit recht klarem Wasser, und verfuhr genau so wie bei der ersten Reihe S. 127. Um die durch die Dazwischensetzung des Glases und Wassers bewirkte prismatische Ablenkung der Lichtstrahlen zu ermitteln, hatte man, wie bei den Versuchen der ersten Reihe S. 126, auf das Barometer *bo* einen Merkstrich gezogen, und auf die Röhre *ah* eine Centimetertheilung. Durch diese Methode erhielt man die Bestimmungen, die in der Tafel No. II, Reihe *A*, *B*, *C*, angegeben sind.

Bei allen Versuchen ist es von Wichtigkeit, daſs das Barometer vollkommen richtig sey; auch sah man darauf, den Apparat so einzurichten, daſs das Barometer *bo* in jedem Augenblick der Versuche leicht mit einem Normalbarometer verglichen werden konnte. Zu dem Ende trug

Digitized by Google

das Brett, an welchem die Barometerröhren befestigt waren, ein Metallstück *r*, mit einer lothrechten Schraube, die an beiden Enden in abgerundeten Spitzen endigte. Diese Schraube ward gedreht, bis ihre untere Spitze mit dem Quecksilberspiegel der Wanne im Niveau war. Während das Glas nicht in seinem Rahmen war, maaſs man mit dem Kathetometer den Abstand des Quecksilberspiegels im Barometer *bo* von der oberen Spitze der Schraube. Um dann die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule zu haben, brauchte man nur zu diesen Abstand die Länge der Schraube von Spitze zu Spitze zu messen, was, wenn man die Schraube zweckmäſsig emporgedreht hatte, mit dem Kathetometer sehr genau geschah.

Die Richtigkeit des Barometers kann noch auf eine andere, ebenfalls einer groſsen Genauigkeit fähigen Methode geprüft werden. Durch Eingieſsen einer gröſsern Menge Quecksilber in die Wanne *U*, oder durch Fortnehmen einer gewissen Menge von demselben, kann man nämlich die Geräumigkeit der barometrischen Kammer innerhalb groſser Gränzen verändern, und wenn das Barometer vollkommen luftfrei ist, muſs dabei seine Höhe dieselbe bleiben, welch eine Geräumigkeit die barometrische Kammer auch haben möge; wie wenig Luft auch das Barometer enthalte, so ist dieſs nicht mehr der Fall [1].

Derselbe Apparat eignet sich sehr gut zur Bestimmung der Spannkräfte des Wasserdampfs in niederen Temperaturen; nur bediene ich mich dann nicht mehr des Blechgefäſses *VV'*, sondern einer Glasglocke von kleinerer Dimension, die etwa 20 Liter faſst. Die Barometerröhren sind dann einfach an ihrem Brett befestigt, und der Ballon *A* befindet sich in gröſserem Abstande

1) Diese letztere Prüfungsmethode ist vor langer Zeit von Hrn. Arago angegeben, und auch benutzt worden, ein Reisebarometer zu construiren, das man an Ort und Stelle füllen kann, ohne das Quecksilber auszukochen. (Auch in Deutschland ist diese Methode längst bekannt und benutzt. *P.*)

Digitized by Google

von diesen Röhren. Zuerst wird der Ballon mit schmelzendem Eise umgeben, um die Dampfspannung bei 0° zu bestimmen, dann nimmt man es fort, und gieſst in die Glocke eine concentrirte Lösung von Chlorcalcium, die man, indem man Eis darin auflöst, schrittweise in ihrer Temperatur erniedrigt. Diese Lösung muſs fortwährend umgerührt werden; es gelingt ziemlich leicht, die Temperatur, wenn auch nicht durchaus stillstehend zu machen, doch so lange man will innerhalb sehr enger Gränzen zu halten, wenn man im Moment, wo die Temperatur zu steigen anfängt, kleine Mengen zerstoſsenen Eises hineinwirft. Um gröſsere Kälte zu erlangen, wandte man krystallisirtes Chlorcalcium an, welches man schichtenweise mit Schnee mengte. So wie dieſs Gemenge flüssig wurde, rührte man es fortwährend um; dadurch sank die Temperatur allmälig so weit, daſs nur noch sehr wenig Eis auf der Oberfläche der Flüssigkeit schwimmen blieb. Im Augenblick des Minimums, das man übrigens durch Einschüttung kleiner Mengen Schnee einige Zeit unterhalten kann, macht man die Beobachtung, unter fortdauerndem Umrühren der Flüssigkeit.

Um die Temperatur des Bades zu erhöhen, wurden kleine Mengen einer concentrirten und heiſsen Chlorcalcium-Lösung in die Glocke geschüttet, wodurch man die geeignete Temperatursteigerung erhielt. Es wurde eine erhitzte Chlorcalcium-Lösung, und nicht reines Wasser angewandt, um nicht das Erkältungsvermögen der Flüssigkeit des Bades zu verringern; so vermochte man eine neue Temperatursenkung durch Hinzufügung von gestoſsenem Eise zu bewirken.

Einleuchtend ist, daſs man die Temperatur desto leichter stationär halten kann, je mehr dieselbe sich der der Umgebung nähert; auch ist die Veränderung der Spannkraft des Wasserdampfs mit der Temperatur in diesem Fall am beträchtlichsten. Unterhalb — 20° C. bewirkt ein Wechsel von einem Zehntelgrad in der Temperatur

nur unmerkliche Veränderungen in der Spannkraft des Wasserdampfs.

Die auf diese Weise angestellten Versuche sind in der Tafel III, Reihe *F*, *G* und *H* angegeben.

Das Verfahren, abgeändert wie eben beschrieben, kann für Temperaturen niedriger als die der umgebenden Luft dienen; allein ich habe mich durch directe Versuche überzeugt, daſs es auch genaue Resultate giebt für Temperaturen, die um mehre Grade höher sind als die der Atmosphäre. Zu dem Ende stellte man den Ballon wieder in den Blechkasten $V\,V'\,V''$, was leicht geschah, ohne etwas aus einander zu nehmen; die Barometerröhren blieben auſserhalb des Kastens, und die Tubulaturen *a* und *b* des Blechgefäſses wurden durch Pfropfen verschlossen. Die Beobachtungen sind ziemlich genau, so lange man das Wasser nicht mehr als 15 Grad über die Temperatur der Umgebung erwärmt; allein über diese Gränze hinaus fängt das Wasser an zu destilliren und sich in den Röhren zu verdichten; dann werden die Beobachtungen unsicher. Auf diese Weise wurden die Reihen *D* und *E* erhalten.

Die eben beschriebenen Methoden sind einer groſsen Genauigkeit fähig; die Apparate sind leicht vorgerichtet, und eignen sich zur Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfs, die sich in einer mehr oder weniger verdünnten Luft entwickeln. Im letzteren Fall braucht man nur den Apparat mit zwei Barometern zu ersetzen durch ein System von communicirenden Röhren, so eingerichtet wie in Fig. 8, Taf. II. Auf diese Weise machte ich Bestimmungen über die Spannkraft des Wasserdampfs in Luft unter dem gewöhnlichen Druck, um zu erkennen, ob diese Spannkraft wirklich der im Vacuo gleich ist; allein ich behalte sie einer künftigen Bekanntmachung vor.

Wesentlich für die Genauigkeit der Versuche ist es, daſs der Ballon vor dem Bersten des Kügelchens vollständig ausgetrocknet sey; dahin gelangt man, wenn man

Digitized by Google

den Ballon mehrmals mit einer guten Luftpumpe evacuirt, und trockene Luft wieder eintreten läſst. Ich wollte mich überzeugen, ob man nicht durch Erhitzung des Ballons bei dem Auspumpen zu einer vollständigeren Trocknung desselben gelange, und demgemäſs für Dampfspannungen bei 0° C. gröſsere Werthe erreiche.

Der Apparat wurde folgendermaſsen abgeändert. Das mit Wasser gefüllte Kügelchen wurde nicht mehr in den Ballon gebracht, sondern in eine kleine Seitenröhre *mm*, Fig. 4, welche an einem Ende in die kupferne Tubulatur *f* eingekittet, und am andern mit einer Röhre voll schwefelsaurem Bimstein verknüpft war. Man trocknete den Apparat wie gewöhnlich mittelst einer Luftpumpe; allein um diese Austrocknung wirksamer zu machen, umgab man den Ballon mit Kohlen, und erhitzte ihn dadurch bis 300 oder 400° C.; auch erhitzte man die Barometerröhre. Die Pumpe nahm zuletzt die Luft vollständiger fort als bei den Versuchen, bei denen man den Ballon nicht erhitzte. Man verschloſs die Röhre bei *l* vor der Lampe. Man wartete bis zum andern Morgen, um die Quecksilberröhren gleiche Temperatur annehmen zu lassen, umgab darauf den Ballon mit Eis, und bestimmte bei 0° die Spannkraft der im Apparat gebliebenen Luft. Ohne das den Ballon umgebende Eis fortzunehmen, brachte man das in die Röhre *mn* eingeschlossene Kügelchen zum Bersten, und das Wasser destillirte in den Ballon. Man löste die Röhre *mn* ab, indem man den capillaren Theil *k* zuschmolz. Der Apparat war nun fertig, und die Versuche wurden wie oben angestellt. Auf diese Weise wurden die Reihen *I*, *J*, *K* der Tafel III erhalten; sie gaben für die Spannkraft des Wasserdampfs bei 0° schwächere Werthe als man durch das erste Verfahren erhielt.

Endlich ist es leicht, den Apparat Fig. 1, 2, Taf. II zur Bestimmung der Spannung des Dampfs im absoluten Vacuo zu gebrauchen. Zu dem Ende schlieſst man das Wasser nicht mehr in ein Kügelchen, sondern bringt da-

Digitized by Google

von eine groſse Menge unmittelbar in den Ballon. Ist der Apparat wie gewöhnlich zusammengestellt, so evacuirt man ihn mit der Luftpumpe, erhitzt den Ballon *A* durch einige glühende Kohlen dergestalt, daſs sich eine kleine Menge Wasser in dem Barometerrohr *ah* verdichtet. Durch fortgesetztes Pumpen erlangt man eine anhaltende Destillation des im Ballon und im Barometerrohre befindlichen Wassers, und dieses Wasser verdichtet sich in der Röhre mit schwefelsaurem Bimstein *MN*. Auf diese Weise destillirt man mehre Grammen Wasser unter einem sehr schwachen Druck über, und wenn man dadurch alle Luft aus dem Apparat getrieben, verschlieſst man die Röhre bei *l* vor der Lampe. Die Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampſs geschieht auf gewöhnliche Weise.

Auf diese Weise wurden die Reihen *L* und *M* der Tafel III erhalten.

III. Die eben beschriebenen Verfahrungsweisen lassen sich auch sehr gut zur Bestimmung der Spannkräfte von Dämpfen anderer Flüssigkeiten als Wasser anwenden, und sie erfordern nur eine sehr kleine Menge von der Substanz. Sind diese Flüssigkeiten von der Art, daſs sie den Kitt angreifen, so muſs man die Röhren nur äuſserlich an die Tubulatur *edf* kitten; es ist auch zweckmäſsig, Röhren anzuwenden, die in ihre kupferne Tubulaturen eingeschmirgelt sind, damit sie diese nahezu verschlieſsen. Der Apparat, so wie er in Fig. 1 u. 2, Taf. II abgebildet ist, eignet sich indeſs nur für Spannkräfte unterhalb 200 Millimeter. Wenn es sich darum handelt, gröſsere Spannungen zu bestimmen, so wende ich den Apparat Fig. 5 an. Diesen benutzte ich nicht beim Wasserdampf, sondern zur Bestimmung der Spannkräfte sehr flüchtiger Flüssigkeiten, wie Aether, Schwefelkohlenstoff etc. etc., worüber ich künftig eine Abhandlung veröffentlichen werde.

Er besteht aus einer gekrümmten Röhre *abc* von 15 Millm. innerem Durchmesser, die sich in einer feine-

Digitized by Google

ren gekrümmten Röhre *ce* endigt. Man füllt den verschlossenen Schenkel *ab* mit Quecksilber, und kocht dieses sorgfältig aus, um es vollständig von Luft und Feuchtigkeit zu befreien. Sobald das Quecksilber erkaltet ist, bringt man in den Schenkel *bc* eine kleine Menge der flüchtigen Flüssigkeit, und kocht dieselbe einige Augenblicke, um sie von ihrem etwaigen Luftgehalt gänzlich zu befreien; dann läſst man, durch zweckdienliches Neigen der Röhre, eine kleine Portion dieser noch heiſsen Flüssigkeit in den verschlossenen Schenkel *ab* flieſsen. Die im Schenkel *bc* zurückgebliebene Flüssigkeit treibt man durch Sieden aus, was man durch unvollständiges Auspumpen erleichtert. So bleibt der Schenkel *bc* mit trockner Luft gefüllt.

Hierauf wird die Röhre *abc* am Blechgefäſs *VV'* befestigt, in vollkommen lothrechter Stellung und hinter dem Glase. Die Röhre *ce* kittet man in ein dreiarmiges Kupferstück *cdf*, dessen Tubulatur *d* zu dem mit einem Hahn *r* versehenen manometrischen Apparat *hilk* führt. In der Tubulatur *f* befindet sich ein feines Rohr *fg* eingekittet, welches man erforderlichenfalls mit einer kleinen Luftpumpe verknüpfen kann.

Die beiden communicirenden Röhren *ih* und *kl* werden vollständig mit Quecksilber gefüllt, wobei die im Apparat enthaltene Luft durch die offene Röhre *fg* entweicht; diese Röhre verschlieſst man vor der Lampe. Um den Druck zu verringern, läſst man durch Oeffnen des Hahns *r* Quecksilber aus dem Manometer abflieſsen; dadurch wird die im Schenkel *bc* enthaltene Luft in einen gröſseren Raum verbreitet, und folglich ihre Spannkraft geschwächt. Man läſst so viel Quecksilber ausflieſsen, daſs das Niveau in dem verschlossenen Schenkel *ab* bis *m* herabsinkt. Die Spannung des Dampfs wird gemessen durch den Druck der Atmosphäre, verringert um die Quecksilbersäule $\alpha\beta$ im Manometer und die *mn* in der gekrümmten Röhre *abc*. Der Capillareinfluſs der dünnen Wasserschicht, die sich

Digitized by Google

über dem Meniskus der Röhre *ab* befindet, wird, nach den Versuchen, durch directe Messungen bestimmt, wobei man durch Oeffnen der Röhre bei *a* den Druck in beiden Schenkeln *ab* und *bc* zur Gleichheit bringt.

Das Gefäſs *VV'* wird mit Wasser gefüllt, welches man, wie S. 127 gesagt worden, in einer constanten Temperatur erhält.

Durch folgendes Verfahren überzeugt man sich leicht, ob der Apparat gehörig eingerichtet, und keine Luft im Schenkel *ab* geblieben sey. Man macht eine erste Reihe von Bestimmungen, den Quecksilberspiegel bei *m* haltend; dann läſst man diesen, durch Ausflieſsen von Quecksilber, auf *m'* herabsinken. Nun ist der vom Dampf eingenommene Raum doppelt so groſs, wie beim ersten Versuch. Wenn im Schenkel *ab* die geringste Menge Luft enthalten wäre, würde man beim zweiten Versuch nicht dieselbe Dampfspannung wie beim ersten erhalten.

Wollte man durch dasselbe Verfahren die Dampfspannung einer bei niederen Temperaturen wenig flüchtigen Flüssigkeit untersuchen, so verknüpfte man die Röhre *fg* mit einer kleinen Luftpumpe, verdünnte zunächst mittelst derselben die im Schenkel *bc* enthaltene Luft, und schmölze darauf die Röhre *fg* zu. Der dreimal durchbohrte Hahn *z* (Fig. 5 *bis*, Taf. II) macht diese verschiedenen Manipulationen sehr leicht.

Will man unter stärkeren Drucken, als der der Atmosphäre, Versuche machen, so schmilzt man die Röhre *fg* in einem Moment zu, wo das Manometer kein Quecksilber enthält. Man gieſst alsdann Quecksilber in die Röhre *kl*; dadurch wird die in der Röhre *hi* befindliche Luft in einen immer kleineren Raum gedrängt, und somit ihre Spannkraft erhöht.

Das eben beschriebene Verfahren ist sehr bequem für sehr flüchtige Flüssigkeiten, weil es erlaubt, deren Spannkräfte zwischen sehr ausgedehnten Gränzen zu bestimmen. Beim Wasser habe ich es nicht angewandt, weil

Digitized by Google

ich es, wegen der groſsen Zahl von Messungen, die es erfordert, bei schwachen Spannungen für viel weniger genau halte, als die bereits beschriebenen Methoden, bei welchen ich mich bemüht habe, die Anzahl der Messungen möglichst zu verringern [1]).

Die Menisken in dem gekrümmten Rohre *abc* und im Manometer *hikl* wurden gleichzeitig von zwei Beobachtern mit zwei Kathetometern gemessen. Diese Vorsicht ist nothwendig, besonders bei etwas beträchtlichen Spannungen, weil die in der Röhre *hi* des Manometers befindliche Luft als Luftthermometer functionirt. Geschehen die Beobachtungen successive, so können daraus beträchtliche Fehler entspringen, indem kleine Temperaturänderungen in der umgebenden Luft Verschiebungen der Menisken bewirken.

1) Dieses Verfahren ist dem ähnlich, welches Hr. Magnus neuerlich in einem eben erschienen Aufsatz (Poggendorff's Annal. Bd. 61, S. 226) angewandt hat, um die Spannkraft des Wasserdampfs zwischen 0° und 100° C. zu bestimmen. Es weicht davon ab durch die Art, wie die Temperaturen bei den Beobachtungen stationär erhalten werden. Hr. Magnus gebraucht dazu einen aus mehren concentrischen Blechkasten zusammengesetzten Apparat, der mittelst darunter gestellten Weingeistlampen erhitzt wird. Ich habe Gelegenheit gehabt, in einer Note in den *Ann. de chim. et de phys. T. VI, p.* 370 einige Einwände gegen diese Methode zu machen. Hr. Magnus glaubt sie verwerfen zu müssen, indem er einen Versuch anführt, bei welchem zwei Luftthermometer von solcher Einrichtung, daſs eines das andere vollständig umschloſs, fortwährend übereinstimmend gingen, als sie allmälig bis 250° C. erhitzt wurden. Ich glaube nicht, daſs dieser Versuch die Schwierigkeit hebe; ich begreife nämlich nicht, wie zwei Luftthermometer unter den Umständen, in welche Hr. Magnus sie versetzte, merkliche Unterschiede zeigen sollten. Mein Einwurf gilt dem Fall, wo ein Luftthermometer mit einem Quecksilberthermometer verglichen wird (A. a. O. *T. VI, p.* 373). Diese Methode scheint mir besonders verwerflich zu seyn bei niederen Temperaturen, die in flüssigen Bädern so leicht stationär zu erhalten sind. Sicher würde Herr Magnus bei seinen Versuchen über die Spannkraft des Wasserdampfs in niederen Temperaturen nicht so groſse Unterschiede angetroffen haben, wenn er flüssige Bäder angewandt hätte.

Digitized by Google

Bei den meisten der obigen Versuche wird die Quecksilbersäule, welche den Druck überträgt, bis zu derselben Temperatur erwärmt, wie der Dampf, dessen Spannung man miſst, und zuweilen steht der Raum, in welchem sich der Dampf entwickelt, in leichter Gemeinschaft mit der das Quecksilber enthaltenden Röhre; das geschieht vor allem bei dem S. 124 beschriebenen Apparat. Wenn nun in den Temperaturgränzen, bei denen wir arbeiten, die Spannung des Quecksilberdampfs beträchtlich ist, so kann sich diese Spannung zu der der in Beobachtung genommenen Flüssigkeit addiren und die Bestimmungen unrichtig machen. Es ist also nothwendig, die Spannung des Quecksilberdampfs zwischen 0° und 100° direct zu bestimmen.

Ich habe auf S. 136 gezeigt, daſs man ziemlich genaue Werthe für die Spannung des Wasserdampfs erhält, selbst wenn die Barometerröhre, welche den Druck miſst, eine 8 bis 10 Grad niedrigere Temperatur besitzt als der Ballon, in welchem sich der Dampf entwickelt. Ich habe Gelegenheit gehabt, diese Thatsache auch beim Terpenthinöl nachzuweisen, selbst für beträchtlichere Temperaturüberschüsse. Es ist wahrscheinlich, daſs in diesem Falle die im Apparat gebliebene Luft, zurückgedrängt in den barometrischen Raum, dazu dient, den im Ballon entwickelten barometrischen Druck zu verpflanzen. Ich habe geglaubt, daſs diese Methode um desto mehr anwendbar sey, die Spannkraft des Quecksilberdampfs innerhalb Temperaturen, wo sie sehr klein ist, zu bestimmen.

In den Ballon des Apparats Fig. 1 und 2, Tafel II, brachte ich mit den auſserhalb des Gefäſses *VV'* befindlichen Barometerröhren etwa 300 Grammen sehr reines Quecksilber, pumpte ihn, unter Erhitzung des Quecksilbers, oftmals aus, um ihn zu trocknen, evacuirte ihn dann noch ein Mal, und verschloſs die Röhre vor der Lampe. Während der Ballon mit Eis umgeben war, maaſs ich den Niveau-Unterschied der beiden Quecksilbersäulen.

Digitized by Google

Ich nahm an, daſs die Spannung des Quecksilberdampſs bei 0° Null sey, so daſs der beobachtete Niveau-Unterschied bloſs die Spannung der im Apparat zurückgebliebenen Luft messe. Nun brachte ich den Ballon in Wasser, welches ich successiv bis zum Sieden erhitzte, unter Beachtung der Vorsichtsmaſsregeln, die vorhin beschrieben wurden, um die Temperaturen im Moment der Beobachtung stationär zu machen. Die Höhenunterschiede der beiden Quecksilbersäulen entstehen dann aus der Spannkraft der im Apparat zurückgebliebenen Luft und der des Quecksilberdampſs; man hat also die letztere, wenn man von dem beobachteten Höhenunterschied die Spannkraft der Luft für die in Rede stehende Temperatur, berechnet aus ihrer bei 0° direct beobachteten Spannkraft, abzieht.

Bei einem ersten Versuch lieſs ich absichtlich etwas viel Luft im Apparat; die Spannkraft dieser Luft bei 0° fand sich $= 4^{mm},22$. Die Spannungen des Quecksilberdampſs ergaben sich:

bei	0°,00 C.	0,000	Millm.
-	23 ,57	0,068	-
-	38 ,01	0,098	-
-	100 ,60	0,555 [1])	-

Bei einem andern Versuch stellte ich ein fast vollkommenes Vacuum her, indem das im Ballon enthaltene Quecksilber während des Auspumpens erhitzt wurde. Die Spannkraft der im Ballon gebliebenen Luft betrug $0^{mm},10$ bei 0° C. Es wurden dann für die Spannungen des Quecksilberdampſs folgende Werthe erhalten:

1) Ich machte mehre Bestimmungen über die Spannung des Quecksilberdampſs bei höheren Temperaturen, indem ich den Ballon in ein Oelbad stellte. Bei 200° C. wurden die Versuche offenbar fehlerhaft wegen der Destillation des Quecksilbers. Wie dem auch sey, ich gebe hier die erhaltenen Zahlen, die nur als Annäherungen zu betrachten sind.

100°,6 C.	0,56	Millm.
146 ,3	3,46	-
177 ,9	10,72	-
200 ,5	22,01	-

Digitized by Google

0°,00	0,000 Millm.
25 ,39	0,034
49 ,15	0,087
72 ,74	0,183
100 ,11	0,407

Diese beiden Reihen weichen beträchtlich von einander ab, wenn man ihre relativen Werthe vergleicht; allein die absoluten Unterschiede sind wirklich sehr klein, und von der Ordnung der Unsicherheiten bei Beobachtungen. Sie genügen, glaube ich, zu zeigen, daſs die Spannung des Quecksilberdampfs bei 100° C. ungefähr 0mm,5 ist [1]), und bei 50° C. kaum auf 0mm,10 steigt; sie ist also unterhalb 50° C. beinahe zu vernachlässigen, weshalb ich nicht für nöthig hielt, ihretwegen eine Berichtigung in den nachfolgenden Tafeln anzubringen.

Tafel II.

Reihe A.

Temperatur Therm. No. 7.	Temperatur Therm. No. 8.	Mittel der Temperat.	Spannung beobacht.	Spannung berechnet.	Unterschied.
			mm.	mm.	mm.
0°,00 C.	0°,00 C.	0°,00 C.	4,695		
0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,665		
0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,675		
20 ,16	20 ,18	20 ,17	17,62		
20 ,14	20 ,18	20 ,16	17,64	17,563	+0,08
23 ,59	23 ,59	23 ,59	21,66		
23 ,57	23 ,58	23 ,57	21,62	21,618	— 0,00
23 ,45	23 ,42	23 ,58	21,56		
23 ,45	23 ,42	23 ,58	21,59		
28 ,18	28 ,26	28 ,22	28,50		
28 ,16	28 ,25	28 ,20	28,50	28,431	+0,07
28 ,03	28 ,09	28 ,06	28,13	28,200	— 0,07
28 ,07	28 ,11	28 ,09	28,31		
31 ,04	31 ,11	31 ,08	33,62	33,559	+0,06
31 ,04	31 ,13	31 ,08	33,62		
33 ,51	33 ,63	33 ,57	38,40		
33 ,49	33 ,61	33 ,55	38,38	38,583	— 0,20
36 ,42	36 ,53	36 ,48	45,49		

1) Nach Avogadro wäre sie bei 100° C. gar nur 0,03 Millimeter. (Ann. Bd. 27, S. 80.) *P.*

Digitized by Google

Temperatur. Therm. No. 7.	Therm. No. 8.	Mittel der Temperat.	Spannung, beobacht.	berechnet.	Unterschied.
			mm.	mm.	mm.
36°,38 C.	36°,47 C.	36°,43 C.	45,35		
36 ,35	36 ,40	36 ,38	45,19		
36 ,37	36 ,42	36 ,40	45,29	45,183	+0,11
36 ,54	36 ,62	36 ,58	45,76		
36 ,56	36 ,62	36 ,59	45,76		
40 ,71	40 ,79	40 ,75	57,58	57,146	+0,43
40 ,65	40 ,72	40 ,69	57,38		
44 ,72	44 ,78	44 ,75	70,77	70,476	+0,29
49 ,65	49 ,75	49 ,70	90,69	90,617	+0,07
49 ,65	49 ,75	49 ,70	90,74		

Reihe B.

0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,65		
0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,65		
0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,65		
19 ,81	19 ,83	19 ,82	17,26	17,199	+0,06
19 ,82	19 ,84	19 ,83	17,26		
19 ,82	19 ,85	19 ,83	17,26		
22 ,68	22 ,73	22 ,70	20,56	20,513	+0,05
22 ,69	22 ,73	22 ,71	20,58		
22 ,70	22 ,74	22 ,72	20,56		
24 ,65	24 ,68	24 ,67	23,07		
24 ,65	24 ,69	24 ,67	23,10	23,092	+0,01
24 ,67	24 ,70	24 ,69	23,15		
28 ,83	28 ,87	28 ,85	29,50	29,524	— 0,02
28 ,83	28 ,86	28 ,84	29,46		
28 ,83	28 ,86	28 ,85	29,48		
33 ,81	33 ,84	33 ,82	39,09		
33 ,81	33 ,84	33 ,82	39,11	39,170	— 0,06
18 ,31	18 ,35	18 ,33	15,84		
18 ,34	18 ,36	18 ,35	15,84	15,707	+0,06
18 ,36	18 ,37	18 ,36	15,84		
18 ,38	18 ,38	18 ,38	15,88		
20 ,99	20 ,97	20 ,98	18,60		
21 ,00	20 ,98	20 ,99	18,54		
21 ,01	20 ,99	21 ,00	18,60	18,495	+0,10
25 ,48	25 ,47	25 ,48	24,35		
25 ,50	25 ,49	25 ,49	24,35		
25 ,52	25 ,50	25 ,51	24,41	24,275	+0,15
25 ,56	25 ,51	25 ,53	24,45		
32 ,16	32 ,21	32 ,19	35,86		
32 ,18	32 ,21	32 ,20	35,88	35,737	+0,14
30 ,94	30 ,96	30 ,95	33,42		
30 ,94	30 ,98	30 ,96	33,48		
30 ,94	30 ,99	30 ,97	33,50	33,349	+0,15
30 ,97	31 ,00	30 ,98	33,48		
30 ,97	31 ,00	30 ,98	33,54		

Digitized by Google

Temperatur. Therm. No. 7.	Therm. No. 8.	Mittel der Temperat.	Spannung, beobacht.	berechnet.	Unterschied.
			mm.	mm.	mm.
34°,18 C.	34°,22 C.	34°,20 C.	40,22		
34 ,18	34 ,23	34 ,21	40,26	40,031	+0,23
34 ,19	34 ,24	31 ,22	40,28		
37 ,22	37 ,25	37 ,23	47,50		
37 ,22	37 ,25	37 ,23	47,44	47,281	+0,16
37 ,22	37 ,25	37 ,23	47,46		
39 ,39	39 ,39	39 ,39	53,34	53,142	+0,20
39 ,37	39 ,41	39 ,39	53,36		
39 ,43	39 ,44	39 ,43	53,50		
39 ,44	39 ,46	39 ,45	53,76		
42 ,58	42 ,63	42 ,61	63,22		
42 ,57	42 ,62	42 ,60	63,14	63,012	+0,13
42 ,56	42 ,61	42 ,59	63,26		
42 ,57	42 ,63	42 ,60	63,26		
16 ,49	16 ,50	16 ,50	14,05	13,972	+0,08
16 ,50	16 ,52	16 ,51	14,09		
16 ,44	16 ,55	16 ,54	14,07		

Reihe C.

Temp. Th. 7.	Spannung, beobach.	berechn.	Unterschied.	Temp. Th 7.	Spannung, beobach.	berechn.	Unterschied.
	mm.	mm.	mm.		mm.	mm.	mm.
0°,00C.	4,58			18°,11C.	15,32		
0 ,00	4,55			20 ,28	17,59		
0 ,00	4,54			20 ,23	17,56		
0 ,00	4,60			20 ,25	17,52	17,661	— 0,13
0 ,00	4,58			20 ,29	17,56		
0 ,00	4,56			20 ,29	17,64		
0 ,00	4,58			20 ,29	17,63		
11 ,49	9,96			22 ,85	20,52		
11 ,52	9,97	10,133	— 0,16	22 ,85	20,58	20,699	— 0,12
11 ,54	10,04			22 ,86	20,56		
11 ,54	10,02			22 ,88	20,61		
13 ,84	11,66			25 ,59	24,25		
13 ,84	11,70	11,785	— 0,08	25 ,56	24,22	24,347	— 0,12
13 ,85	11,70			25 ,56	24,19		
14 ,04	11,84	11,939	— 0,10	28 ,14	28,21	28,332	— 0,12
14 ,04	11,82			28 ,13	28,15		
14 ,06	11,85			30 ,30	31,92	32,096	— 0,17
16 ,43	13,76			30 ,29	31,91		
16 ,46	13,83	13,937	— 0,10	32 ,49	36,16	36,352	— 0,17
19 ,12	16,34			32 ,42	36,01		
19 ,12	16,40	16,468	— 0,07	32 ,38	36,00		
19 ,13	16,44			32 ,39	35,99		
15 ,93	13,36	13,475	— 0,11	36 ,13	44,34	44,518	— 0,19
15 ,94	13,37			36 ,13	44,32		
18 ,10	15,32			38 ,88	51,37	51,704	— 0,33
18 ,09	15,32	15,453	— 0,13	38 ,86	51,31		

Digitized by Google

Reihe D.

Temperatur. Therm. No. 7.	Spannung, beobachtet.	Spannung, berechnet.	Unterschied.	Temperatur. Therm. No. 7.	Spannung, beobachtet.	Spannung, berechnet.	Unterschied.
	mm.	mm.	mm.		mm.	mm.	mm.
0°,00C.	4,69			13°,92C.	11,84	11,850	— 0,01
0,00	4,67			13,92	11,86		
0,00	4,67			13,92	11,86		
0,00	4,65			16,34	13,82		
8,20	8,14			16,35	13,82	13,840	— 0,02
8,24	8,18			16,36	13,82		
8,27	8,20	8,1640	+ 0,04	19,88	17,21		
8,28	8,26			19,88	17,21	17,263	— 0,05
9,00	8,58	8,574	+ 0,01	15,62	13,20		
9,00	8,60			15,61	13,22		
9,01	8,62			15,62	13,22	13,212	+ 0,01
9,02	8,62			15,62	10,24		
9,04	8,68						

Reihe E.

0,00	4,59			16,54	13,89		
0,00	4,59			16,55	13,91		
0,00	4,59			16,55	13,87		
6,70	7,27			16,55	13,91	14,016	— 0,10
6,72	7,27			18,32	15,53		
6,74	7,25	7,361	— 0,11	18,32	15,61	15,667	— 0,06
6,77	7,33			18,32	15,59		
7,39	7,66	7,693	— 0,03	20,51	17,81		
7,41	7,64			20,51	17,81	17,946	— 0,13
10,11	9,11			20,54	17,85		
10,11	9,13			22,84	20,53		
10,11	9,15	9,232	— 0,08	22,84	20,53	20,687	— 0,15
13,60	11,54			22,85	20,55		
13,60	11,56	11,605	— 0,04	9,98	9,07		
13,60	11,52			9,98	9,01		
13,60	11,52			9,98	9,07		
14,92	12,55			9,98	9,09	9,153	— 0,06
14,92	12,57	12,634	— 0,06	17,25	14,57		
14,91	12,57			17,25	14,55	14,650	— 0,10

Reihe F.

— 0°,37	4,48	4,457	+ 0,02	— 30°,59	0,33		
— 11,69	1,70			— 28,13	0,47	0,427	+ 0,04
— 8,11	2,39	2,305	+ 0,08	— 23,95	0,53		
— 4,61	3,19	3,100	+ 0,09	— 19,41	0,88	0,885	0,00
— 7,82	2,46			— 16,83	1,16	1,100	+ 0,06
— 2,43	3,81	3,739	+ 0,07	— 14,62	1,38		
— 0,83	4,34			— 12,55	1,62	1,581	+ 0,04

Digitized by Google

Reihe G.

Temperatur.		Spannung		Unterschied.	Temperatur.		Spannung		Unterschied.
Therm. N.	Therm. No. 2.	beob.	berech.		Therm. N.	Therm. No. 2.	beob.	berech.	
		mm.	mm.	mm.			mm.	mm.	mm.
0°,00	0°,00	4,61			−18°,41		0,98	0,963	+0,02
−27,21		0,46			−16,43		1,17	1,138	+0,03
−28,45		0,38			−16,15		1,15		
−28,39		0,43			−13,25		1,51		
−28,00		0,41	0,430	−0,02	−10,67	−10,71	1,88	1,851	+0,03
−27,80		0,48	0,438	+0,04	−10,29	−10,31	1,99		
−25,31		0,52			−7,81	−7,76	2,51		
−25,00		0,52	0,553	−0,03	−7,56	−7,59	2,49	2,423	+0,07
−22,74		0,71			−5,51	−5,57	2,94		
−21,79		0,71	0,724	−0,01	−5,37	−5,43	2,96	3,022	−0,06
−21,16		0,73			−3,72	−3,75	3,39	3,347	+0,04
−18,69		0,93			−3,68	−3,75	3,41		

Reihe H.

0,00		4,54			−12°,53	−12,59	1,61		
0,00		4,54			−12,26	−12,32	1,63		
0,00		4,54			−10,60	−10,65	1,97	1,862	+0,10
0,00		4,58			−10,47	−10,49	1,99		
0,00		4,58			−7,84	−7,90	2,40	2,355	+0,04
0,00		4,57			−7,64	−7,73	2,40		
0,00		4,58			−6,37	−6,38	2,79		
−32,84		0,27			−6,39	−6,41	2,82		
−32,78		0,28			−6,20	−6,24	2,88		
−32,26		0,29			−4,87	−4,86	3,20	3,037	+0,16
−30,67		0,33			−4,82	−4,84	3,20		
−30,89		0,32	0,339	−0,02	−3,64	−3,64	3,47		
−30,46		0,33			−3,51	−3,52	3,52		
−29,66		0,34			−2,16	−2,11	3,91		
−23,23		0,61			−2,38	−2,40	3,85		
−23,00		0,66			Th. 7.				
−23,71		0,57			+2,48		5,41		
−23,51		0,59			+2,24		5,31		
−22,27		0,66			+2,30		5,32		
−22,10		0,66	0,654	+0,01	+3,84		5,95		
−20,49		0,76			+3,85		5,97		
−20,28		0,72			+5,99		6,91		
−18,78		0,91	0,933	−0,02	+5,98		6,91		
−18,59		0,89	0,948	−0,05	+7,96		7,94		
−17,32	−17,43	1,01			+7,96		7,88		
−17,10	−17,14	1,04			+7,95		7,92		
−14,36	−14,44	1,34			+9,71		8,87		
−14,17	−14,26	1,38	1,372	−0,01	+9,70		8,87		

Digitized by Google

Reihe I.

Temperatur. Therm. No. 7.	Spannung, beobachtet	Spannung, berechnet.	Unterschied.	Temperatur. Therm. No. 7.	Spannung, beobachtet.	Spannung, berechnet.	Unterschied.
	mm.	mm.	mm.		mm.	mm.	mm.
0°,00C.		4,54		0°,00C.	4,54		
0 ,00		4,54		0 ,00	4,52		
0 ,00		4,52		0 ,00	4,50		
0 ,00		4,54		0 ,00	4,50		
0 ,00		4,52		0 ,00	4,54		

Reihe J.

0 ,00		4,56		0 ,00	4,52		—0,08
0 ,00		4,53		7 ,61	7,64	7,808	—0,168
0 ,00		4,56		9 ,93	8,94	9,122	—0,182
0 ,00		4,54		12 ,34	10,46	10,693	—0,233
0 ,00		4,52		16 ,42	13,60	13,902	—0,302

Reihe K.

0 ,00	4,54			7 ,61	7,63		
0 ,00	4,54			7 ,61	7,65	7,808	—0,158
0 ,00	4,52			9 ,93	8,95	9,122	—0,172
0 ,00	4,54			9 ,93	8,93		
0 ,00	4,54			12 ,34	10,47	10,692	—0,222
0 ,00	4,56			12 ,34	10,45		
0 ,00	4,54			16 ,42	13,58		
0 ,00	4,56			16 ,42	13,62	13,901	—0,281

Reihe L.

0 ,00	4,66			24 ,36	22,65	22,668	—0,02
0 ,00	4,67			27 ,09	26,64	26,646	0,00
0 ,00	4,64			27 ,09	26,68		
0 ,00	4,62			28 ,27	28,58		
0 ,00	4,64			28 ,28	28,65	28,564	+0,09
0 ,00	4,66			26 ,87	26,36	26,31	+0,05
0 ,00	4,67			36 ,87	26,37		
0 ,00	4,66			33 ,71	38,92		
0 ,00	4,66			33 ,70	38,87	38,909	—0,04
9 ,77	9,03			37 ,07	46,83		
9 ,80	9,02	9,044	—0,02	37 ,06	46,89	46,845	+0,04
9 ,83	9,07			37 ,06	46,82		
12 ,75	11,00			41 ,03	57,97	58,002	—0,03
12 ,75	10,98	10,982	— 0,00	41 ,03	58,06		
15 ,63	13,13			41 ,02	57,97		
15 ,63	13,18	13,22	—0,04	44 ,08	68,21		
18 ,94	16,25			44 ,08	68,24		
18 ,97	16,27	16,284	—0,01	44 ,08	68,09	68,072	+0,02
18 ,97	16,29			35 ,13	42,29	42,129	+0,16
21 ,37	18,77			35 ,13	42,35		
21 ,37	18,82	18,918	—0,10	35 ,13	42,27		
24 ,36	22,64						

Digitized by Google

Reihe M.

Temperatur. Therm. No. 7.	Spannung, beobachtet	Spannung, berechnet.	Unterschied.	Temperatur. Therm. No. 7.	Spannung, beobachtet.	Spannung, berechnet.	Unterschied.
	mm.	mm.	mm.		mm.	mm.	mm.
0°,00C.	4,66			26°,68C.	26,08	26,012	+0,07
0 ,00	4,66			26 ,68	26,10		
0 ,00	4,66			36 ,15	44,54		
25 ,69	24,51			36 ,17	44,63		
25 ,69	24,54	24,533	— 0,01	36 ,17	44,65	44,615	+0,03
35 ,87	43,86			44 ,39	69,31		
35 ,87	43,90	43,886	+0,01	44 ,38	69,25	69,142	+0,13
43 ,66	66,67			51 ,22	97,41	97,718	—0,30
43 ,66	66,60	66,602	0,00	51 ,21	97,39		
43 ,62	66,57			53 ,61	109,90		
49 ,58	90,10	90,076	+0,02	53 ,63	109,96	109,954	0,00
49 ,58	90,04			53 ,66	110,16		
49 ,58	90,04			58 ,34	137,29		
14 ,37	12,25	12,220	+0,03	58 ,38	137,78		
14 ,40	12,30			58 ,37	137,66	137,632	+0,03
26 ,69	26,12						

[Die vorstehenden Tafeln schlieſsen alle Versuche ein, welche ich in niederen Temperaturen über die Spannkraft des Wasserdampfs gemacht habe, allein ich glaube nicht, daſs alle dieselbe Genauigkeit verbürgen. So flöſsen mir die Reihen J, K wenig Vertrauen ein, schon deshalb, weil die Unterschiede zwischen den berechneten und beobachteten Zahlen fortwährend mit der Temperatur zunehmen.]

IV. Die in den vorhergehenden Kapiteln auseinandergesetzten Methoden eignen sich nur für Temperaturen unterhalb 60 bis 70° C. Bei höheren Graden zertheilt sich das Wasser so rasch in ungleich heiſse Schichten, daſs es zur Verhütung dieses Uebelstandes eines fortwährenden Umrührens bedarf. Ueberdieſs werden diese Methoden bei Temperaturen über 100° gänzlich unbrauchbar.

Für hohe Temperatur nahm ich meine Zuflucht zu einem wohl bekannten Verfahren, welches von mehren Physikern, namentlich von den HH. Arago und Dulong, angewandt worden ist. Es besteht darin, daſs man die Temperatur bestimmt, bei welchem das Wasser unter einem bestimmten Drucke siedet. Es hat den Vorzug, daſs

Digitized by Google

es bei höheren Drucken angewandt werden kann, und liefert, zweckmäſsig ausgeführt, sehr genaue Resultate.

In dem Apparat der HH. Arago und Dulong kam das Wasser nicht wirklich in's Sieden [1]). Seine Spannkraft wurde durch Wirkung der Wärme bis zu einem gewissen Maximum gesteigert, welches man mittelst eines Manometers bestimmte, während zugleich ein in den Dampf und ein in das flüssige Wasser des Kastens getauchtes Thermometer beobachtet wurden. Zu anderen Malen beobachtete man gleichzeitig die Thermometer und das Manometer, wenn die Temperatur noch im Steigen war, und sich dem Maximo näherte. Bei dieser Verfahrungsweise steht zu fürchten, daſs die Thermometer, welche nothwendig gegen die Temperatur des Dampfs etwas zurückbleiben, nicht denselben Grad wie dieser erreichen im Moment, wo sie ihr Maximum angeben.

Der Fehler, der daraus entspringen kann, ist bei Versuchen unter groſsen Drucken wahrscheinlich sehr schwach oder gar unmerklich, weil dann ein sehr kleiner Temperaturunterschied einer groſsen Aenderung in der Spannkraft entspricht; allein bei schwachen Drucken, z. B. bei kleinern als der der Atmosphäre, würde er vermuthlich nicht zu vernachlässigen seyn. Allein es ist leicht, dieſs Verfahren gegen allen Einwurf zu sichern, wenn man den Versuch unter genau denselben Umständen anstellt, wie den, bei welchem zur Bestimmung des Punktes 100 der Thermometer Wasser unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre siedet; und die Temperatur, bei welcher Wasser unter anderen Drucken zum Sieden kommt, läſst sich mit derselben Genauigkeit bestimmen. Dazu braucht man nur Wasser in einem Gefäſse sieden zu lassen, welches mit einem etwas groſsen Raume communicirt, in welchem man Luft nach Belieben zusammendrückt oder ausdehnt; diese Luft bildet eine künstliche Atmosphäre, welche auf

1) *Ann. de chim. et de phys Ser. II, T. XLIII, p.* 74. (Ann. Bd. 18, S. 437.)

die Oberfläche des heiſsen Wassers einen Druck ausübt. Solchergestalt erhält man einen eben so stäten Siedpunkt, wie beim Kochen des Wassers an freier Luft, und man kann diese Temperatur so lange stationär halten wie man will.

Der zu diesem Behufe eingerichtete Apparat ist in Fig. 6, Taf. II abgebildet. Er besteht aus einer kupfernen Retorte A, verschlossen durch einen aufgebolzten Deckel. Dieser Deckel trägt vier unten geschlossene eiserne Röhren, von denen zwei bis zum Boden der Retorte, die beiden andern aber nur bis zu ihrer Mitte hinabgehen. Diese Röhren, welche 7 Millm. inneren Durchmesser und etwa 1 Millm. Dicke haben, sind umhüllt von einem Staucher aus sehr dünnem Kupfer, der am Deckel befestigt ist, und nach oben vier Oeffnungen o, o, o, o hat. Der Hals der Retorte steckt in einem Rohr TT' von etwa 1 Millm. Länge, welches umgeben ist von einer kupfernen Hülle, durch die man unausgesetzt einen Strom kalten Wassers leitet. Dieſs Rohr communicirt mit einem kupfernen Ballon B, der 24 Liter faſst, und eingeschlossen ist in ein Gefäſs VV' voll Wasser von der Temperatur der Umgebung. Der Ballon hat unten ein zweiarmiges Ansatzrohr; in einen dieser Arme xs kittet man die Röhre egh des Apparates Fig. 2, wenn man die Versuche unter Drucken schwächer als der der Atmosphäre anstellt, oder die Röhre pq des Apparats Fig. 8, wenn die Versuche unter beträchtlicheren Drucken geschehen sollten. Der zweite Arm gemeinschaftet, mittelst einer bleiernen Röhre tt', entweder mit einer gewöhnlichen Luftpumpe, um die Luft zu verdünnen, oder mit einer Druckpumpe, um sie zu verdichten.

Die vier eisernen Röhren sind bis auf einige Centimeter von der oberen Mündung mit Quecksilber gefüllt; sie nehmen Thermometer auf, deren Behälter bis zu ihrem Boden hinabgehen; zwei dieser Thermometer befinden sich sonach innerhalb des Dampfs, die beiden andern innerhalb des Wassers.

Digitized by Google

Man macht den Apparat so weit luftleer, daſs nur ein sehr schwacher Druck darin bleibt. Dann erhitzt man das Wasser bis zum Sieden, wobei der Dampf sich in den Refrigerator TT' verdichtet, und in die Retorte zurückflieſst. Der Druck, unter welchem das Sieden geschieht, wird gemessen durch den Höhenunterschied des Quecksilbers in der Röhre und des im Barometer. Die Quecksilbersäule, welche in der mit dem Ballon gemeinschaftenden Röhre gehoben wird, ist niemals absolut stationär; sie besitzt eine kleine Oscillationsbewegung, aber diese Bewegung hat nur eine ungemein beschränkte Amplitude, die bei zweckmäſsiger Regulirung des Feuers unter der Retorte nicht auf 0,1 Millm. steigt. Der Beobachter verfolgt mit dem Faden des Fernrohrs am Kathetometer den Meniskus, und kann ihn leicht in Momenten absoluten Stillstands beobachten. Die Lage, welche dann der Meniskus einnimmt, ist genau die mittlere zwischen den Extremen, die er bei den kleinen Oscillationen erreicht. Das Barometer, welches in derselben Wanne steht, macht nur wenig merkliche Oscillationen, so daſs man es nach der Beobachtung des Meniskus gemächlich ablesen kann.

Ein zweiter Beobachter liest von weitem die in die Retorte versenkten Thermometer mit einem Fernrohr ab, und vermeidet somit die Parallaxe bei der Ablesung.

Auf diese Weise wurde bei einem selben Druck eine gewisse Anzahl von Bestimmungen gemacht, in Zwischenzeiten von 8 bis 10 Minuten zwischen je zwei auf einander folgenden; so war es leicht, die vollkommene Constanz der bei gleichem Druck von den Thermometern angezeigten Temperaturen zu erkennen, und sich zu überzeugen, daſs die geringste Aenderung im Druck von einer entsprechenden Aenderung in der Temperatur begleitet war.

Um einen gröſsern Druck im Apparat hervorzubringen, öffnete man vorsichtig den Hahn r, und lieſs die nöthige Luftmenge eintreten, um den gewünschten Druck herzustellen.

Digitized by Google

Dadurch erhielt man die Siedtemperaturen des Waſsers stufenweise von den schwächsten Drucken an bis zu dem der Atmosphäre. Dieser letztere wurde am Barometer des Apparats selbst gemessen nach dem S. 133 angegebenen Verfahren.

Um die Siedpunkte des Wassers für Drucke gröſser als der der Atmosphäre zu bestimmen, richtete man den Apparat ein wie Fig. 6, d. h. ersetzte den Meſsapparat Fig. 2 durch den Fig. 8, und brachte die Röhre *tt'* mit einer Druckluftpumpe in Verbindung.

Die Röhre *mn* hat etwa 4 Meter Länge und 14 Millimeter innern Durchmesser; sie ist an einem genau lothrechten Brette befestigt. Drei zweckmäſsig vertheilte Thermometer mit groſsen Behältern geben die mittlere Temperatur der Quecksilbersäule in der Röhre *mn*.

Mittelst der Druckpumpe stellt man jeden beliebigen Druck im Apparate her. Dieser Druck wird gemessen durch die Barometerhöhe vergröſsert um die Quecksilberhöhe, welche den Unterschied der beiden Quecksilberspiegel in den Röhren *mn* und *pq* darstellt. Die Bestimmung dieses letzteren Unterschiedes erfordert Vorsicht, wenn man eine groſse Genauigkeit erlangen will. Bei gegenwärtiger Einrichtung des Apparats oscilliren die Quecksilbersäulen beide in den Röhren *mn* und *pq*. Diese Oscillationen haben nur eine kleine Amplitude, und sind oft nur in dem stark vergröſsernden Fernrohr des Kathetometers sichtbar. Dennoch würde man sich Fehlern aussetzen, die nicht zu vernachlässigen sind, wenn man den Meniskus im Rohre *mn* und den im Rohre *pq* successiv mit demselben Kathetometer messen wollte. Dieſs ist übrigens auch unmöglich, wenn die Niveaudifferenz gröſser ist als 1 Meter, welches an unsern Kathetometern der längste Lauf ist. Man bediente sich zu gleicher Zeit zweier Kathetometer. Mit jedem dieser Instrumente verfolgte man einen der Menisken; es war dann leicht, die vollkommen entsprechenden Lagen beider Menisken zu beobachten,

Digitized by Google

wenn man die Momente wählte, wo die Oscillationen um den Gleichgewichtspunkt nur eine sehr kleine Amplitude, etwa von 0,1 Millm., hatten. Die Beobachtungen geschahen gleichzeitig durch zwei Personen, auf ein von einer derselben gegebenes Zeichen. Die Regulirung der Kathetometer geschah durch einen und denselben Merkstrich, der auf die Röhre *pq* sehr dicht bei der Lage, wohin man beständig den Meniskus führte, gezogen war.

Auch auf die Röhre *mn* waren in Abständen von 0,9 Met. Merkstriche gezogen, deren Abstände mittelst eines Kathetometers oftmals geprüft wurden, und dabei niemals Unterschiede von 0,1 Millm. zeigten, was hinreichend die Genauigkeit des Meſsverfahrens beweiſst. Ich wollte auch durch directe Messungen untersuchen, ob die Skalen der beiden Kathetometer identisch seyen, und welchen Grad von Genauigkeit man von dieser Beobachtungsweise erwarten könnte. Zu dem Ende stellte ich die beiden Instrumente einander gegenüber, so daſs man mit dem Fernrohr des einen die Theilung des andern auf's Deutlichste sähe, und umgekehrt. Ich las dann von 5 zu 5 Centimetern die Theilung des einen Instruments mit dem mikrometrischen Apparat des andern ab. Ich erhielt somit auf den ganzen Lauf von 1 Meter nirgends einen Unterschied, der bis 0,05 Millm. stieg. Um eine solche Genauigkeit bei den Messungen zu erhalten, müssen die Instrumente mit groſser Vollkommenheit gearbeitet seyn, die Fernröhre dürfen keine zu groſse Brennweite ($0^m,30$) haben, und vor allem müssen die Libellen der Fernröhre äuſserst empfindlich seyn. Die Libellen der Kathetometer des Hrn. Gambey zeigen Neigungen von 1 Sekunde leicht an. Die Nonien geben unmittelbar 0,02 Millm., und leicht schätzt man noch 0,01.

Die bei diesen Versuchen angewandten Quecksilberthermometer waren gewöhnliche mit geraden Stielen. Ein Theil der Quecksilbersäulen ragte nothwendig aus dem Deckel der Retorte hervor, und erforderte also, da er

Digitized by Google

sich nicht in der Temperatur des Dampſs befand, eine Berichtigung. Diese Berichtigung wäre leicht, wenn man die mittlere Temperatur der Säulen mit hinreichender Genauigkeit kennte. Wenn der Stiel sich in freier Luft befindet, ist die Temperatur der Säule an verschiedenen Punkten ungleich, je nach dem Abstande dieser Punkte vom Deckel des Kessels. Um jede Unsicherheitsquelle zu vermeiden, hatten die HH. Arago und Dulong die Stiele ihrer Thermometer unmittelbar am Austritt aus den eisernen Röhren rechtwinklich gekrümmt und in horizontale Glasröhren eingeschlossen, welche ein Strom kalten Wassers, dessen Temperatur ein kleines Thermometer angab, durchstrich.

Mittelst dieses Kunstgriffs verringert man bedeutend die Säulenlänge, deren Temperatur unsicher ist; allein es ist an der Biegung immer ein beträchtliches Stück des Stiels, das nicht in das Wasser gebracht werden kann, und dessen Temperatur man nicht kennt. Ueberdieſs bieten die gekrümmten Thermometer mehre bedeutende Uebelstände dar. Soll ihr Kaliber richtig seyn, so muſs ihre Skale gänzlich in dem horizontalen Theil des Stiels enthalten seyn; folglich trifft die Berichtigung eine beträchtliche Anzahl von Graden. Die Lage der festen Punkte ist bei gekrümmten Thermometern auch schwieriger zu bestimmen als bei geraden. Diese Betrachtungen haben mich veranlaſst, Thermometer mit geraden Stielen anzuwenden, und sie so anzubringen, daſs nur ein Theil der Skale zur Retorte herausragt. Ein kleines Thermometer, etwa in der Mitte der nicht eingetauchten Säulen, gab die Temperatur, welche man als Ausdruck der Mitteltemperaturen der nicht eingetauchten Quecksilbersäulen ansah. Es blieb zu wissen, ob die so vollzogenen Berichtigungen genau wären, oder ob sie abgeändert werden müſsten, um ihren wahren Werth zu erhalten. Zur Entscheidung dieser Frage stellte ich folgende Versuche an.

Ein sehr genaues, vollkommen luftfreies Thermome-

Digitized by Google

ter, das von 0° bis 110° C. ging, hatte am Ende seines Stiels eine Erweiterung, in die sich ein Theil seines Quecksilbers ergieſsen konnte. Man bestimmte mit groſser Sorgfalt den Nullpunkt dieſes Thermometers in schmelzendem Eise, und den Hundertpunkt in Dampf von siedendem Wasser, welcher den Stiel gänzlich umgab. Unmittelbar darauf brachte man dasselbe Thermometer in eine der eisernen Röhren der Retorte, in welcher Wasser unter dem Druck der Atmosphäre siedete. Die Temperatur, welche das Thermometer unter diesen Umständen anzeigte, nachdem der nicht eingetauchte Theil der Röhre nach Angabe eines kleinen Thermometers, dessen Behälter sich in halber Höhe der Säule befand, berichtigt worden, war identisch mit der, welche man zuvor in dem Apparat erhalten hatte, als der Stiel gänzlich in den Dampf tauchte. Dieser Versuch war für den Erweis der Genauigkeit der Berichtigung noch nicht entscheidend, denn dazu müſste man annehmen, daſs das in die Eisenröhre gesteckte Thermometer genau die Temperatur des Dampfs in der Retorte anzeigte. Dieſs Letztere läſst sich aber direct erweisen, und ich habe es daher nicht versäumt zu thun. Zu dem Ende lieſs ich aus dem Stiel des Thermometers eine Portion Quecksilber austreten, und sich in die obere Erweiterung ergieſsen, dergestalt, daſs wenn das Thermometer abermals in die eiserne Röhre der Retorte gesteckt war, und das Wasser unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre siedete, das Quecksilber einige Millimeter oberhalb des Deckels stehen blieb. Mittelst des horizontalen Fernrohrs eines Kathetometers las ich äuſserst sorgfältig den Stand des Thermometers ab. Darauf steckte ich das Instrument in den Apparat, der zur Bestimmung des Hundertpunkts der Thermometer dient, und las eben so den Theilstrich ab, bei welchem die Quecksilbersäule stehen blieb. Es war mir unmöglich, zwischen den in beiden Fällen vom Thermometer angezeigten Temperaturen den geringsten Unterschied nach-

Digitized by Google

zuweisen, obwohl ein Grad eine Länge von 6 Abtheilungen der Skale einnahm.

Vorstehende zwei Versuche vereint beweisen: 1) daſs die Thermometer unter den Umständen, unter welchen sie im Apparate Fig. 7 sind, die Temperatur des Dampfs annehmen; 2) daſs die Berichtigung, welche ich für den nicht eingetauchten Theil des Stiels angegeben habe, für 100° richtig ist. In diesem Fall stieg für meine Thermometer die Berichtigung im Maximo auf 0°,35. Ich habe angenommen, daſs dieselbe Berichtigungsweise auch auf Temperaturen unter 100° gültig sey.

Zu den Versuchen bei niederen Drucken als der der Atmosphäre dienten Thermometer, die von 0° bis 100° gingen, und 5 bis 8 Abtheilungen auf den Grad umfaſsten. Es war daher leicht, $\frac{1}{60}$ Grad mit Sicherheit abzulesen. Die vier Thermometer, die zu den Versuchen unter groſsem Drucke dienten, gingen von 0° bis etwa 240° C. Der Centigrad entsprach 2,5 bis 3 Theile ihrer Skale. Alle diese Instrumente waren von mir selbst mit groſser Sorgfalt construirt und verificirt.

Um bei den Versuchen unter hohem Druck die nicht eingetauchten Theile der Säulen zu berichtigen, machte ich folgende Versuche.

Unter einem bestimmten Druck gröſser als der der Atmosphäre lieſs ich Wasser in der Retorte sieden. Drei der vier Thermometer steckten in den eisernen Röhren; das vierte Eisenrohr enthielt ein Ausfluſsthermometer, so gefüllt, daſs die Quecksilbersäule einige Millimeter oberhalb des Deckels stehen blieb, und deshalb keiner Berichtigung bedurfte. Man las dann die Angaben dieser vier Thermometer ab. Um die vom Ausfluſsthermometer angegebene Temperatur zu berechnen, muſste man an diesem Instrument die Lage des Hundertpunkts kennen. Diese Lage wurde direct bestimmt, durch Eintauchung des Thermometers in den Dampf von Wasser, das unter dem atmosphärischen Druck siedete.

Digitized by Google

Man kannte also die Temperatur des Ausfluſsthermometers, die keiner Berichtigung bedurfte, und die der andern Thermometer, die für den zur Retorte herausragenden Theil ihrer Säule berichtigt werden muſsten. Es war folglich leicht zu sehen, ob die angewandte Berichtigungsweise diese Angaben zur Gleichheit brächte. Es ist gut zu bemerken, daſs die nicht eingetauchten Theile der Säulen beträchtlich verschieden waren bei den drei Thermometern, und daſs sie daher absolut sehr ungleiche Berichtigungen erforderten.

Die Versuche wurden etwa bei den Temperaturen 110, 120, 130 und 140° C. angestellt. Bei diesen Temperaturgränzen zeigten die Thermometer (berichtigt in der Annahme, daſs die Mitteltemperatur ihrer herausragenden Stieltheile von einem mit seinem Behälter in deren halber Höhe befindlichen Thermometer angegeben ward) niemals gegen das Ausfluſsthermometer Unterschiede bis zu 0°,2. Sehr füglich lassen sich diese Unterschiede, wenigstens zum Theil, der Ungleichheit im Gange der Instrumente zuschreiben. Ich nehme demzufolge an, daſs die Berichtigung, die nach dem aus einander gesetzten Princip an den nicht eingetauchten Säulen angebracht ward, bis zu 145° C. als hinlänglich genau angesehen werden kann.

In den folgenden Tafeln habe ich alle erlangten Resultate zusammengestellt. Es sind dabei die Angaben der in das Wasser und der in den Dampf getauchten Thermometer jede für sich gegeben. Man sieht, daſs wenn das Wasser unter niedrigen Drucken siedete, das in die Flüssigkeit getauchte Thermometer eine beträchtlich höhere Temperatur angab, als das im Dampf befindliche. Der Unterschied steigt bei sehr schwachen Drucken bis 0°,7; er nimmt ab in Maaſse, als das Sieden unter gröſserem Druck geschieht, und wird endlich Null, wenn der Druck beim Sieden dem der Atmosphäre gleich ist. Bei höheren Drucken bemerkt man keinen erheblichen

Digitized by Google

Unterschied mehr, und dieſs hat mich bewogen, in der Tafel V, die sich auf diese Drucke bezieht, nur das Mittel der vier Thermometer anzugeben.

Ich begann diese Reihe von Versuchen absichtlich mit sehr schwachen Drucken, um ihre Resultate zu vergleichen mit denen, die bei denselben Temperaturen nach den in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Methoden erhalten wurden. Ich fand eine so vollständige Uebereinstimmung, wie man sie nur erwarten kann. Uebrigens ist klar, daſs bei niederen Temperaturen die ersteren Methoden den Vorzug verdienen.

Tafel IV.

Reihe N.

Therm. im Wasser.			Therm. im Dampf.			Spannung,		Unterschied.
O.	*A.*	Mittel.	No. 8.	No. 7.	Mittel.	beobachtet.	berechnet.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
43,55	43,55	43,55	42,90	42,82	42,86	64,13	63,896	+ 0,25
43,64	43,55	43,59	42,89	42,83	42,86	64,13		
43,64	43,46	43,55	42,91	42,83	42,87	64,12		
49,49	49,50	49,495	48,95	48,99	48,97	87,59		
49,49	49,52	49,50	48,98	49,02	49,00	87,57		
49,53	49,54	49,535	48,98	49,00	48,99	87,55	87,455	+ 0,10
54,06	54,01	54,03	53,44	53,51	53,48	109,52		
54,04	54,03	54,035	53,45	53,51	53,48	109,60		
54,06	54,04	54,05	53,46	53,51	53,49	109,64		
54,07	54,05	54,06	53,46	53,51	53,49	109,64	109,21	+ 0,43
54,06	54,04	54,05	53,46	53,51	53,49	109,66		
57,37	57,38	57,375	56,78	56,86	56,82	128,47		
57,38	57,38	57,38	56,78	56,84	56,81	128,49	128,091	+ 0,40
57,40	57,37	57,385	56,78	56,84	56,81	128,43		
57,37	57,37	57,37	56,78	56,84	56,81	128,43		
61,31	61,39	61,35	60,84	60,89	60,86	155,18		
61,34	61,39	61,36	60,84	60,88	60,86	155,16	154,836	+ 0,32
61,38	61,47	61,42	60,88	60,93	60,90	155,40		
66,25	66,34	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62	194,280	+ 0,34
66,25	66,34	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62		
66,25	66,35	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62		
71,95	72,37	72,16	71,75	71,77	71,76	251,73		
71,95	72,38	72,165	71,74	71,77	71,76	251,73	251,463	+ 0,27
71,95	72,39	72,17	71,74	71,78	71,76	251,79		
76,69	76,83	76,76	76,49	76,47	76,48	306,71	306,908	− 0,19
76,69	76,81	76,75	76,50	76,48	76,49	306,71		

Therm. im Wasser			Therm. im Dampf			Spannung,		Unterschied.
O.	*A.*	Mittel.	No. 8.	No. 7.	Mittel.	beobachtet.	berechnet.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
76,68			76,46	76,44	76,45	306,47	306,524	−0,05
76,68	76,79	76,73	76,46	76,43	76,45	306,41		
80,28	80,40	80,34	80,13	80,10	80,115	356,00		
80,28	80,40	80,34	80,13	80,10	80,115	356,00	356,229	−0,23
80,28	80,40	80,34	80,12	80,09	80,115	356,00		
83,24	83,33	83,28	83,08	83,06	83,07	401,28		
83,24	83,33	83,28	83,07	83,05	83,06	401,30		
83,24	83,33	83,28	83,07	83,05	83,06	401,30	401,057	+0,24
83,24	83,32	83,28	83,07	83,04	83,06	401,30		
86,81	86,80	86,80	86,66	86,65	86,65	462,27		
86,81	86,83	86,82	86,66	86,66	86,66	462,26		
86,81	86,85	86,83	86,66	86,67	86,67	462,34	462,257	+0,08
86,81	86,88	86,85	86,67	86,67	86,67	462,34		
89,93	89,96	89,95	89,83	89,83	89,83	522,02		
89,94	89,98	89,96	89,83	89,83	89,83	522,02	522,058	−0,04
89,94	89,90	89,92	89,84	89,83	89,83	522,00		
92,32	92,24	92,28	92,19	92,17	92,18	569,79		
92,31	92,22	92,26	92,18	92,15	92,17	569,79		
92,32	92,21	92,26	92,18	92,17	92,17	569,71		
92,32	92,28	92,30	92,20	92,21	92,20	569,83		
92,32	92,28	92,30	92,20	92,19	92,20	569,83	571,033	−1,20
94,11	94,05	94,08	94,08	93,99	94,04	610,24		
94,10	94,01	94,05	94,04	93,97	94,00	610,54		
94,10	94,08	94,09	94,05	94,00	94,02	610,54		
94,10	94,08	94,09	94,04	94,01	94,02	610,54	611,194	−0,65
95,79	95,77	95,78	95,77	95,74	95,75	651,64		
95,79	95,73	95,76	95,76	95,72	95,74	651,34	651,288	+0,05
95,79	95,74	95,78	95,77	95,73	95,74	651,32		
96,93	96,83	96,88	96,83	96,82	96,83	677,88		
96,92	96,83	96,88	96,85	96,82	96,84	677,98	678,060	−0,08
96,92	96,86	96,89	96,89	96,85	96,87	677,92		
96,92	96,89	96,90	96,87	96,82	96,84	677,88		
98,75	98,82	98,78	98,76	98,70	98,73	727,07	726,205	+0,86
98,76	98,85	98,80	98,76	98,70	98,73	727,19		
100,20	100,16	100,18	100,20	100,13	100,17	765,70	765,10	+0,60

Reihe O.

47,84	47,56	47,70	47,16	47,17	47,16	80,19	79,94	+0,55
47,84	47,57	47,70	47,14	47,18	47,16	80,19		
62,40	62,40	62,40	62,06	62,01	62,04	163,44	163,469	−0,02
62,40	62,41	62,40	62,06	62,01	62,04	163,44		
62,40	62,40	62,40	62,08	62,00	62,04	163,44		
71,75	71,76	71,75	71,42	71,45	71,44	248,17	248,045	+0,12
71,77	71,77	71,77	71,44	71,46	71,45	248,17		
71,75	71,77	71,76	71,42	71,46	71,44	248,17		
79,20	79,22	79,21	78,94	78,96	78,95	340,35	339,794	+0,56

Therm. im Wasser			Therm im Dampf			Spannung,		Unterschied.
O.	*A.*	Mittel.	No 8.	No. 7.	Mittel.	beobachtet.	berechnet.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
79,20	79,22	79,21	78,94	78,95	78,95	340,27		
79,20	79,21	79,20	78,94	78,95	78,95	340,27		
84,34	84,35	84,35	84,15	84,15	84,15	419,72		
84,34	84,34	84,34	84,15	84,15	84,15	419,62	418,765	+0,86
84,34	84,34	84,34	84,15	84,14	84,15	419,64		
84,34	84,35	84,35	84,15	84,15	84,15	419,64		
87,60	87,57	87,58	87,47	87,43	87,45	476,38		
87,62	87,59	87,60	87,50	87,45	87,48	476,52	477,010	— 0,49
87,62	87,60	87,61	87,52	87,47	87,49	476,50		
87.64	87,59	87,62	87,50	87,46	87,48	476,44		
89,94		89,94	89,75	89,75	89,75	519,59		
89,94	89,86	89,90	89,75	89,75	89,75	519,57	520,468	— 0,90
89,92	89,82	89,87	89,73	89,74	89,73	519,37		
91,48	91,38	91,43	91,30	91,32	91,31	550,18		
91,48	91,34	91,41	91,30	91,32	91,31	550,36		
91,48	91,34	91,41	91,28	91,30	91,29	550,30	551,794	— 1,49
91,46	91,34	91,40	91,28	91,30	91,29	550,22		
91,48	91,34	91,41	91,26	91,30	91,28	550,22		
92,58	92,28	92,43	92,41	92,37	92,39	573,96		
92,58	92,28	92,43	92,41	92,37	92,39	573,96		
92,58	92,29	92,44	92,41	92,37	92,39	573,98	575,120	— 1,14
93,74	93,67	93,70	93,62	93,59	93,60	601,98		
93,80	93,65	93,72	93,67	93,63	93,65	601,96		
93.80	93,65	93,72	93,67	93,65	93,66	601,96		
93,79	93,65	93,72	93,69	93,63	93,66	602,02	603,070	— 1,05
95,03	94,81	94,93	94,83	94,87	94,85	628.65		
95,03	94,85	94.94	94,85	94,87	94,86	628.61		
95,01	94,95	94,93	94,83	94,87	94,85	628,61	630,277	— 1,66
95,92	95,83	95,87	95,84	95.80	95,82	653,22		
95,92	95,81	95,87	95,84	95,79	95,82	653,01		
95,92	95,83	95,87	95,82	95,78	95,80	652,97	652,725	+0.25
95,92	95,80	95,86	95,80	95,77	95,79	652,95		
96,93	96,77	95,85	96,76	96,77	96.76	676,24		
96,91	96,76	96.83	96,76	96,77	96,76	676,18	676,083	+0,10
96,91	96,75	96.83	96,74	96,76	96,75	676,14		
98,77	98,75	98,76	98,66	98,66	98,66	724,38	724,373	0,00
98,75	98,76	98,76	98,66	98,67	98.66	724,18		
100,23	100,10	100,16	100,25	100,12	100.18	765,11	765,114	0,00

Reihe P.

47,73	47,87	47,80	47,00	47,10	47,05	79,69	79,294	+0,40
47,59	47,75	47,69	46,92	47,01	46,96	79,53	78,95	+0,58
52,72	52,92	52,82	52,16	52,15	52,16	102,82	102,34	+0,48
53,01	53,18	53,09	52,49	52,47	52,48	104,79	103,96	+0.83
62,93	63,20	63,06	62,52	62,56	62,54	167,93	167,249	+0,68
63,14	63,37	63,25	62,73	62,76	62,75	169,32	168,86	+0,46

Therm. im Wasser			Therm. im Dampf			Spannung,		Unter-schied.
O.	*A.*	Mittel.	No. 8.	No. 7.	Mittel.	beob-achtet.	berech-net.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
70,60	70,88	70,74	70,28	70,28	70,28	236,62	235,94	+0,68
70,87	71,17	71,02	70,60	70,60	70,60	239,78	239,23	+0,55
75,45	75,62	75,53	75,18	75,18	75,18	291,31	290,70	+0,61
75,57	75,85	75,71	75,32	75,32	75,32	293,12	292,34	+0,78
79,69	79,91	79,80	79,50	79,51	79,50	348,16	347,50	+0,66
82,96	83,16	83,06	82,81	82,78	82,80	397,74	396,93	+0,81
85,03	85,20	85,11	84,89	84,90	84,90	432,29	431,31	+0,95
90,83	90,87	90,85	90,70	90,67	90,68	539,51	539,20	+0,31
93,73	93,71	93,72	93,70	93,60	93,65	604,08	602,87	+1,21
96,84	96,80	96,82	96,82	96,69	96,76	676,29	676,08	+0,21
99,98	100,02	100,00	99,90	99,87	99,87	760,48	757,13	+3,35[1])

Reihe Q.

91,25	91,15	91,20	91,06	91,10	91,08	548,01	[2])	
91,25	91,15	91,20	91,06	91,09	91,08	548,01	547,43	+0,58
91,25	91,15	91,20	91,07	91,10	91,09	547,91		
94,34	94,18	94,26	94,15	94,14	94,15	614,96		
94,34	94,19	94,27	94,15	94,15	94,15	614,94	614,15	+0,79
94,33	94,21	94,27	94,18	94,17	94,18	614,90		
96,58	96,51	96,55	96,52	96,49	96,50	668,66	669,69	— 1,03
96,58	96,52	96,55	96,50	96,49	96,50	668,64		
97,03	96,91	96,97	96,95	96,87	96,91	679,76		
97,03	96,89	96,96	96,92	96,86	96,89	679,56		
97,03	95,90	96,96	96,92	96,87	96,90	679,46	679,55	— 0,11
97,03	96,91	96,97	96,92	96,87	96,90	679,44		
97,52	97,46	97,49	97,46	97,42	97,44	692,92		
97,52	97,43	97,48	97,44	97,40	97,42	692,62	692,54	+0,08
97,52	97,42	97,47	97,41	97,38	97,40	692,62		
97,51	97,43	97,47	97,42	97,40	97,41	692,48		
98,45	98,49	98,47	98,39	98,41	98,40	717,85	717,60	+0,25
98,45	98,49	98,47	98,40	98,40	98,40	717,83		
98,45	98,49	98,47	98,39	98,40	98,40	717,81		
99,15	99,18	99,16	99,08	99,07	99,07	734,82	735,16	—0,34
99,15	99,17	99,16	99,10	99,06	99,08	734,74		
99,15	99,17	99,16	99,08	99,05	99,06	734,70		
99,62	99,57	99,60	99,59	99,56	99,58	748,90	748,76	+0,14
99,62	99,57	99,60	99,61	99,57	99,59	748,92		
99,62	99,57	99,60	99,59	99,57	99,58	748,84		

1) Dieser letzte Versuch ist offenbar falsch; die Retorte communicirte direct mit der äuſsern Luft.

2) Diese Berechnungen geschahen nach der Formel (*A*) unter Annahme der Mitteltemperaturen, die von den im Dampf befindlichen Thermometern angegeben wurden.

Digitized by Google

Reihe R.

Thermometer im Wasser			Thermometer im Dampf			Mittel der vier Therm.	Spannung,		Unterschied.
No. 10.	No. 12.	Mittel.	No. 0.	No. 11.	Mittel.		beobacht.	berechn. [1])	
°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	mm.	mm.	mm.
99,85	99,82	99,83	99,80	99,83	99,82	99,83	751,61		
100,74	100,68	100,71	100,72	100,71	100,71	100,71	776,03		
100,82	100,72	100,77	100,72	100,71	100,71	100,74	777,09	779,86	— 2,77
105,14	105,06	105,10	105,07	105,06	105,06	105,08	904,87	905,45	+0,58
105,14	105,06	105,10	105,07	105,06	105,06	105,08	904,32		
111,84	111,73	111,78	111,68	111,72	111,70	111,74	1131,60	1131,35	+0,25
111,84	111,73	111,78	111,68	111,72	111,70	111,74	1131,34		
116.12	116,08	116,10	116,07	116,01	116,04	116,07	1302,37	1302,37	0,00
116,06	116,08	116,07	116,07	116,01	116,04	116,06	1302,23		
122,72	122,67	122,70	122,56	122,50	122,53	122,59	1601,25	1600,52	+0,73
122,72	122,67	122,70	122,56	122,50	122,53	122,59	1601,25		
128,51	128,57	128,54	128,53	128,41	128,47	128,50	1925,20	1918,02	+7,18
128,51	128,57	128,54	128,55	128,37	128,46	128,50	1925,48		
128,63	128,69	128,66	128,66	128,49	128,57	128,62	1931,14		
128,59	128,61	128,60	128,62	128,45	128,53	128,57	1929,36		
131,38	131,39	131,38	131,38	131,23	131,30	131,35	2094,69		
131,42	131,43	131,42	131,42	131,27	131,34	131,38	2096,47	2090,72	+5,75
135,70	135,71	135,70	135,75	135,55	135,65	135,68	2373,03		
135,70	135,71	135,70	135,75	135,55	135,65	135,68	2373,03	2372,33	+0,70
138,37	138,36	138,36	138,28	138,20	138,24	138,30	2561,73		
138,37	138,40	138,39	138,32	138,20	138,26	138,32	2561,50	2560,18	+1,32
140,92	140,91	140,91	141,01			140,95	2758,69		

Digitized by Google

140,88	140,91	140,90	141,01			140,93	2756,17	2757,93	— 1,76
143,88	143,93	143,90	144,10	143,76	143,93	143,92	2997,75		
143,84	143,85	143,85	143,98	143,68	143,83	143,84	2992,79	2991,67	+ 1,12
145,69	145,67	145,68	145,68	145,58	145,63	145,65	3150,42		
145,73	145,67	145,70	145,68	145,60	145,64	145,67	3149,41	3148,28	+ 1,13
145,73	145,71	145,72	145,72	145,60	145,66	145,69	3149,73		
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3307,33	3308,86	— 1,53
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3306,52		
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3306,39		
128,34	128,28	128,31	128,44	128,19	128,32	128,32	1908,81	1907,64	+ 1,17
128,34	128,28	128,31	128,44	128,19	128,32	128,32	1910,09		
128,27	128,24	128,25	128,40	128,15	128,28	128,27	1908,90		
126,17	126,15	126,16	126,26	126,13	126,20	126,18	1794,11	1788,76	+ 5,35
126,17	126,15	126,16	126,24	126,13	126,18	126,17	1793,47		
126,17	126,15	126,16	126,26	126,15	126,20	126,18	1793,12		
122,90	122,87	122,88	123,02	122,82	122,90	122,89	1620,04		
122,82	122,83	122,82	122,98	122,78	122,88	122,85	1618,54	1615,01	+ 3,53
122,82	122,83	122,82	122,94	122,78	122,86	122,84	1618,70		
119,24	119,22	119,23	119,36	119,19	119,27	119,25	1447,30	1442,28	+ 5,02
119,24	119,22	119,23	119,36	119,19	119,27	119,25	1447,37		
117,50	117,37	117,43	117,52	117,41	117,46	117,45	1364,90	1361,68	+ 3,22
117,46	117,41	117,43	117,52	117,37	117,44	117,44	1361,78		
110,68	110,72	110,70	110,67	110,64	110,65	110,68	1095,44	1091,58	+ 3,86
110,68	110,68	110,68	110,67	110,64	110,65	110,66	1094,68		
99,74	99,69	99,72	99,78	99,80	99,79	99,75	753,96		

1) Die Berechnungen geschahen nach der Formel (*C*) unter Annahme der Mittel aus den vier Thermometerständen.

Reihe T.

Temperatur, im Dampf No. 11.	im Wasser No. 2.	Spannung, beobacht.	berechnet.	Unterschied.
°C.	°C.	mm.	mm.	mm.
121,13	121,16	1530,27	1530,68	— 0,41
121,13	121,16	1529,96		
121,11	121,16	1529,18		
123,91	123,90	1668,71	1668,88	— 0,17
123,91	123,94	1670,34		
123,91	123,94	1670,32		
128,47	128,40	1915,12	1912,25	+ 2,87
128,47	128,38	1915,96		
130,18	130,12	2012,51	2013,65	— 1,14
130,20	130,15	2015,34		
131,57	131,45	2097,93	2095,07	— 2,86
131,57	131,45	2097,93		
131,63	131,51	2098,28		
133,32	133,21	2209,20	2207,00	+ 2,20
133,28	133,20	2209,08		
136,09	135,92	2387,99		
136,02	135,85	2386,07	2382,84	+ 3,23
136,00	135,83	2386,81		
137,52	137,75	2514,79		
137,54	137,77	2515,30	2520,10	— 4,80
137,54	137,77	2515,30		
137,54	137,77	2514,99		
138,89	138,90	2599,23	2603,04	— 3,81
138,89	138,90	2599,18		
138,87	138,88	2597,97		
138,82	138,84	2597,34		
138,80	138,82	2596,43		
138,75	138,66	2591,65		
138,74	138,66	2591,65		
138,74	138,65	2591,29		
138,73	138,64	2590,61		
141,59	141,61	2803,05		
141,54	141,57	2799,68		
141,56	141,58	2801,18	2808,82	— 7,64
141,56	141,58	2801,77		
141,56	141,59	2802,03		
144,15	144,10	3010,19		
144,17	144,12	3010,73	3015,93	— 5,20
144,17	144,12	3009,44		
145,98	145,88	3163,67		
145,98	145,88	3163,63	3166,64	— 5,01
145,98	145,88	3163,66		
148,30	148,20	3360,74		
148,30	148,20	3361,36	3374,53	— 13,17
148,30	148,20	3361,36		
148,30	148,24	3361,03		
148,26	143,20	3359,54		

Digitized by Google

[Bei den Berechnungen der Reihe T gebrauchte man die Angaben des Thermometers No. 11, welches eins von den zu den Reihen R und S angewandten ist. Das Thermometer No. 2 zerbrach späterhin durch Zufall, deshalb habe ich seine Angaben nicht berücksichtigt.]

Es handelt sich nun darum, eine Interpolationsformel aufzufinden, welche alle Beobachtung auf eine genügende Weise wiedergiebt, und die einer gegebenen Temperatur entsprechende Spannkraft des Wasserdampfs bestimmen läſst.

Man hat, um die Spannkraft des Wasserdampfs in Function der Temperatur auszudrücken, eine groſse Anzahl verschiedenartiger Formeln aufgestellt. Einige derselben sind als bloſse Interpolationsformeln gegeben, andere dagegen mit gröſseren Anprüchen, als wirkliche Ausdrücke des Gesetzes der Erscheinung.

Du Prony hat zuerst einen Ausdruck von der Form

$$e = a\alpha^t + b\beta^t + c\gamma^t + d\delta^t$$

aufgestellt, und zur Berechnung der Coëfficienten a, b, c, d und der Exponentialbasen α, β, γ, δ aus den Beobachtungen eine allgemeine Methode gegeben [1]).

Thomas Young hat die von mehren Physikern angenommene Formel

$$e = (a + bt)^m$$

vorgeschlagen.

Die HH. Dulong und Arago haben einen Ausdruck von derselben Form angenommen. Die von diesen berühmten Physikern berechnete Formel

$$e = (1 + 0{,}7153t)^5$$

schlieſst nur eine Constante ein, die mittelst einer einzigen ihrer Beobachtungen, mittelst der beim stärksten Druck gemachten, bestimmt wurde.

Roche hat die Formel

$$e = a\alpha^{\frac{t}{m + nt}}$$

vorgeschlagen. Er giebt sie nicht als bloſse Interpolationsformel, sondern als mathematischen Ausdruck des

1) *Journ. de l'école polytechnique. Coh. II, p.* 1.

Digitized by Google

Phänomens. Dieselbe Formel wurde seitdem von mehren Physikern reproducirt, namentlich von Hrn. August [1]). Sie repräsentirt meine Beobachtungen zwischen den Gränzen, die zur Berechnung der Constanten dienten, ziemlich gut. Ich habe Gelegenheit gehabt, mich davon zu überzeugen, indem ich mittelst der Spannungen bei 0°, 50° und 100° drei Constanten berechnete; allein es ist leicht zu ersehen, daſs sie nicht das mathematische Gesetz des Phänomens ausdrückt, und deshalb nur als eine Interpolationsformel zu betrachten ist; die Function ist discontinuirlich, und stellt eine Curve mit zwei Zweigen dar. Im Fall $\alpha > 1$ hat einer dieser Zweige, welcher die beobachteten Spannungen vorstellen soll, einen Haltepunkt für $t = -\frac{m}{n}$ und $e = o$. Die Curve ist alsdann Tangente zur Axe der t; von diesem Punkt ab, gegen die positiven t hin, kehrt die Curve ihre Convexität gegen die Axe der t, sie zeigt einen Beugepunkt für $t = \frac{m(\log\alpha - 2n)}{2n^2}$, endlich ist sie Asymptote zur Gerade $e = a\alpha^{\frac{1}{n}}$, parallel der Axe der t. Der andere Zweig ist Asymptote zu derselben Geraden $e = a\alpha^{\frac{1}{n}}$, und zu der mit der Axe der e parallelen Geraden $t = -\frac{m}{n}$.

Endlich hat Hr. Biot eine neue Interpolationsformel aufgestellt, und mittelst derselben eine Tafel über die Spannkraft des Wasserdampfs von $-20°$ bis $220°$ berechnet; er stützt sich dabei für die Temperaturen unter 100° auf die Versuche des Hrn. Gay-Lussac, und für die höheren Temperaturen auf die der HH. Dulong und Arago [2]). Die Formel des Hrn. Biot ist analog der von

1) Poggendorff's Annal., Bd. 13, S. 122. — Dieselbe Formel wurde von Hrn Magnus bei der S. 141 erwähnten Arbeit adoptirt.

2) *Compt. rend. de l'acad. T. XII, p.* 150. (Ann. Bd. 44, S. 627).

Prony; nur setzt Hr. Biot die Summe der Exponentialgröſsen dem Logarithmen der Spannkraft gleich, und nicht der Spannkraft selbst. Er findet, daſs man sich auf drei Glieder beschränken, und selbst die Basis der einen Exponentialgröſse gleich 1 annehmen könne; solchergestalt nimmt er die folgende Formel an:

$$\log e = a + b\alpha^t + c\beta^t.$$

Die fünf Constanten, die in diesen Ausdruck eintreten, werden durch fünf zweckmäſsig in der Temperaturskale vertheilte Beobachtungen bestimmt. Ich habe Herrn Biot's Interpolationsformel angenommen; sie scheint mir zu vielen physikalischen Phänomenen mit Vortheil anwendbar zu seyn, und besonders zu den Relationen zwischen Spannkräften und Temperaturen.

Für den Augenblick bezwecke ich nicht eine Formel aufzustellen, die das Phänomen in seiner ganzen Ausdehnung umfaſst, denn die von mir unter hohen Drucken angestellten Beobachtungen sind noch nicht vollständig genug, und müſsten weiter getrieben werden. Diese Beobachtungen bieten übrigens eigenthümliche Schwierigkeiten dar, die ich bald anzeigen werde, und die mich abgehalten haben, sie als entscheidend zu betrachten.

Ich bestimme die fünf Constanten der Formel:

$$\log e = a + b\alpha_1^t + c\beta_1^t,$$

mittelst der Spannkräfte, die den Temperaturen 0, 25, 75, 100 entsprechen. Seyen A, B, C, D, E ihre Logarithmen, und setzen wir überdieſs:

$$(\alpha_1)^{25} = \alpha \quad ; \quad (\beta_1)^{25} = \beta,$$

woraus:

$$\alpha_1 = \sqrt[25]{\alpha} \quad ; \quad \beta_1 = \sqrt[25]{\beta},$$

dann haben wir die fünf Bedingungsgleichungen:

$$A = a + b + c \quad \ldots (1)$$
$$B = a + b\alpha + c\beta \quad \ldots (2)$$
$$C = a + b\alpha^2 + c\beta^2 \quad \ldots (3)$$
$$D = a + b\alpha^3 + c\beta^3 \quad \ldots (4)$$
$$E = a + b\alpha^4 + c\beta^4 \quad \ldots (5).$$

Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) zieht man:

Digitized by Google

$$a=\frac{[A\alpha\beta-(\alpha+\beta)B+C](\alpha-\beta)}{(\alpha-1)(\beta-1)(\alpha-\beta)}$$
$$b=\frac{[A\beta-(1+\beta)B+C](\beta-1)}{(\alpha-1)(\beta-1)(\alpha-\beta)}$$
$$c=\frac{[-A\alpha+(1+\alpha)B-C](\alpha-1)}{(\alpha-1)(\beta-1)(\alpha-\beta)}.$$

Substituirt man diese Werthe in den Gleichungen (4) und (5), so erhält man zwei Gleichungen, die nur α und β einschlieſsen.

Zieht man die Gleichung (2) von der Gleichung (4) ab, so kommt:

$$D-B=b\alpha(\alpha^2-1)+c\beta(\beta^2-1),$$

und substituirt man für b und c ihre Werthe, und reducirt:

$$D-B=A\alpha\beta-B(\alpha+1)(\beta+1)+C(\alpha+\beta+1) \quad ..(6),$$

oder:

$$D-C=(A-B)\alpha\beta-(B-C)(\alpha+\beta) \quad ....(7).$$

Durch Subtraction der Gleichung (3) von Gleichung (5) kommt:

$$E-C=\beta\alpha^2(\alpha^2-1)+c\beta^2(\beta^2-1),$$

und für b und c ihre Werthe gesetzt, und reducirt:

$$(\alpha+\beta)[A\alpha\beta-B(\alpha+1)(\beta+1)+C(\alpha+\beta+1)]+A\alpha\beta-C\alpha\beta=E-C,$$

oder vermöge der Gleichung (6):

$$(\alpha+\beta)(D-B)+(A-C)\alpha\beta=E-C \quad ....(8).$$

Aus den Gleichungen (6) und (8) zieht man:

$$\alpha+\beta=\frac{(D-C)(A-C)-(E-C)(A-B)}{(A-C)(C-B)-(A-B)(A-C)}$$
$$\alpha\beta=\frac{(E-C)(C-B)-(A-C)(D-C)}{(A-C)(C-B)-(A-B)(A-C)},$$

woraus α und β, mithin auch α_1 und β_1 hervorgehen.

Die Werthe der Coëfficienten a, b, c berechnen sich dann durch die Formeln:

$$b=\frac{A\beta-(1+\beta)B+C}{(\alpha-\beta)(\alpha-1)}$$
$$c=\frac{-A\alpha+(1+\alpha)B-C}{(\alpha-\beta)(\beta-1)}$$
$$a=A-b-c.$$

In den vorhergehenden Tafeln findet man eine groſse Anzahl von Bestimmungen der Spannkraft des Wasser-

Digitized by Google

dampfs bei 0°; allein es herrscht unter diesen Bestimmungen kein so vollkommener Einklang, wie ich wohl gewünscht hätte. Zwar sieht man die in einer selben Reihe enthaltenen Zahlen nur sehr wenig von einander abweichen, was beweist, daſs die Beobachtungsfehler äuſserst gering sind. Allein wenn man eine Reihe mit der andern vergleicht, sind die Unterschiede merklicher, und im Allgemeinen, wenn sich bei 0° ein Unterschied zeigt, hält er sich fast auch constant in den höhern Temperaturen. Diese Unterschiede entspringen also aus constanten Fehlern, die ich vergebens zu entfernen gesucht habe. Zur Berechnung der Formel habe ich die Zahl 4mm,60 als Spannung bei 0° angenommen; sie ist das Mittel zwischen den äuſsersten Beobachtungen 4,52 und 4,68.

Die den Spannungen 25, 50 und 75 entsprechenden Temperaturen wurden erhalten, indem man nach den Resultaten der Versuche die Spannungen in groſsem Maaſsstabe graphisch construirte, und den numerischen Werth der zur Curve genommenen Ordinate durch eine kleine Interpolation, gemacht an den benachbarten, unmittelbar durch die Beobachtungen gegebenen Punkte, rectificirte. Diese Interpolation hat den Werth der Ordinaten, die den Temperaturen $t=25°$ und $t=50°$ entsprechen, nicht merklich geändert. Für $t=75°$ gab die graphische Curve $e=288^{mm},8$; die Interpolation reducirte diesen Werth auf $288^{mm},50$.

Ausgehend von den Daten:

$t=0°$	$e=4,60$	Millm.
$t=25$	$e=23,55$	-
$t=50$	$e=91,98$	-
$t=75$	$e=288,50$	-
$t=100$	$e=760,00$	-

findet man:

$$\left.\begin{array}{ll} \log \alpha_1 = & 0,006865036 \\ \log \beta_1 = & 0,9967249-1 \\ \log b = & 0,1340339-2 \\ \log c = & 0,6116485 \\ a = & +4,7384380 \end{array}\right\} \ldots (A).$$

Aus den Tafeln kann man ersehen, welcher Einklang zwischen den aus dieser Formel abgeleiteten und den direct beobachteten Resultaten besteht.

Ich habe gesucht, dieselbe Formel auf Temperaturen unter 0° anzuwenden, habe aber gefunden, daſs die also abgeleiteten Spannkräfte immer höher sind als die beobachteten. Für die ersten negativen Grade der Skale ist der Unterschied zwar sehr klein, aber gegen —25° C. steigt er auf $0^{mm},25$, so daſs die durch die Formel gegebene Curve von 0° steigt, und sich für die ferneren Grade unter 0° successiv von der beobachteten Curve entfernt.

Jene Formel kann also für sehr tief unter 0° liegende Temperaturen nicht angewandt werden. Für diese habe ich eine kleine Interpolationsformel angewandt, nämlich:

$$e = a + b\alpha^x \ldots\ldots\ldots\ldots (B),$$

worin $x = t - 32$ Grade.

Die drei Constanten wurden durch folgende drei Werthe bestimmt:

$t = -32$	$x = 0$	$e = 0,31$	Millm.
$t = -16$	$x = 16$	$e = 1,18$	-
$t = 0$	$x = 32$	$e = 4,60$	-

So erhielt man:

$$\left.\begin{array}{ll} \log b = & 0,4724984-1 \\ \log \alpha = & 0,0371566 \\ a = & +0,0131765 \end{array}\right\} \ldots (B).$$

Bei allen meinen Versuchen wurden die Temperaturen durch Quecksilberthermometer gemessen, welche gegen Luftthermometer den Vorzug haben, daſs sie eine weit pünktlichere und genauere Ablesung gestatten; allein über 100° werden die Angaben der Quecksilberthermometer unsicher; sie variiren sogar für eine und dieselbe Temperatur nach der Natur des zum Behälter genommenen Glases, und wahrscheinlich auch nach der

Digitized by Google

Art, wie dieser Behälter geblasen worden ist. Die vier Thermometer, die zu den Versuchen über 100° dienten, waren aus Röhren von Krystallglas, das aus Einem Tiegel genommen worden, construirt, und die Behälter durch einen und denselben Künstler daran geschmolzen; dennoch zeigten diese Thermometer in ihrem Gange keinen so vollkommenen Einklang, als man nach der ungemeinen Sorgfalt, die man auf die Anfertigung und Prüfung der Skale verwandt hatte, wohl zu erwarten berechtigt gewesen wäre. Man würde diesen Uebelstand vermeiden, wenn man die Temperaturen über 100° direct an einem Luftthermometer beobachtete; allein wenn dieſs letztere Instrument einer gewissen Genauigkeit fähig seyn soll, so muſs es beträchtliche Dimensionen haben, damit die Röhren, in welchen man die Aenderungen der Spannkraft der Luft miſst, einen so groſsen Durchmesser haben können, daſs sie keine merkliche Variation in der Capillarität zeigen. Ein Instrument dieser Art konnte aber nicht mit meinen Apparaten verknüpft werden. Ich habe es vorgezogen, die Temperaturen direct durch Quecksilberthermometer zu messen, und darauf diese selben Thermometer mit einem gehörig construirten Luftthermometer zu vergleichen, indem ich sie unter ähnliche Umstände versetzte wie die, bei welchen sich diese Instrumente in der Retorte befanden. Ich habe mehre Probeversuche zum Behufe dieser Vergleiche gemacht, aber die Resultate genügten mir noch nicht; ich beabsichtige neue Versuche anzustellen, die ich mit der Ergänzung meiner gegenwärtigen Beobachtungen, denen über die Spannkraft des Wasserdampſs in höheren Temperaturen, veröffentlichen werde.

Einstweilen halte ich es für zweckmäſsig, die bisher in höhern Temperaturen angestellten Beobachtungen durch eine provisorische Interpolationsformel zu verknüpfen, damit man ihren Gang leichter studiren könne. Ich nehme bloſs eine Formel mit zwei Gliedern:

$$\log e = a + b\alpha^x.$$

Digitized by Google

Die drei Constanten dieser Formel wurden nach folgenden Werthen berechnet:

$t = 100^{\circ}$ $\quad e = 760{,}0$ Millm.
$t = 123$ $\quad e = 1621{,}0$ -
$t = 146$ $\quad e = 3177{,}0$ -

Sie wurden von der nach den Beobachtungen der Reihe R construirten Curve abgenommen. Somit fand man:

$$\left.\begin{aligned} \log \alpha &= 0{,}9977641 - 1 \\ \log b &= 0{,}4692291 \\ a &= +5{,}8267890 \end{aligned}\right\} \ldots (C).$$

Die Formel ist:

$$\log e - b\alpha^x \qquad x = t - 100 \ldots (C).$$

Aus den Tafeln kann man ersehen, daſs diese Formel die Beobachtungen ziemlich gut wiedergiebt; der gröſste Unterschied steigt auf $13^{mm},2$; er entspricht in der Schäzzung der Temperatur einem Fehler von $0^{\circ},15$.

Die in dieser Abhandlung veröffentlichten Versuche sind also repräsentirt durch drei partielle Interpolationsformeln, die vorzugsweise den Zweck haben, den Gang der Beobachtungen zu studiren. Wenn ich dahin gelangt seyn werde, meine Versuche in höheren Temperaturen zu vervollständigen, und die dabei angewandten Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer zu vergleichen, will ich untersuchen, ob es möglich sey, die Beobachtungen in ihrer ganzen Ausdehnung durch eine einzige Formel auszudrücken.

Am Schlusse dieser Abhandlung findet man die Tafel der Spannkräfte des Wasserdampfs, berechnet mittelst der Formeln *A* und *B*, für alle Temperaturgrade zwischen -32° und 100° C.

Für Temperaturen unter 100° lassen sich über die Spannkraft des Wasserdampfs sehr genaue Bestimmungen erhalten, wenn man bei Besteigung eines Berges den Siedpunkt des Wassers an verschiedenen Orten beobachtet. Die HH. Bravais und Peltier waren so gut, auf meine

Digitized by Google

Bitte einige Versuche der Art während ihrer Besteigung des Faulhorns im Sommer 1842 anzustellen. Die Notiz, welche das Detail dieser Versuche enthält, ist in den *Compt. rend. de l'acad.*, *T. XVIII*, *p.* 572, veröffentlicht [1]).

Die von den HH. Bravais und Peltier gefundenen Zahlen zeigen ziemlich groſse Unterschiede mit den aus meinen Beobachtungen abgeleiteten. Es ist jedoch zu bemerken, daſs das von diesen Physikern angewandte Thermometer sehr groſse Unregelmäſsigkeiten in der Lage des Nullpunktes darbot; ähnliche Unregelmäſsigkeiten müssen sich nothwendig beim Siedpunkt gezeigt haben.

Eine andere Reihe von Versuchen wurde im December 1843 von Hrn. Marié, Prof. der Physik am Collége zu St. Etienne, bei einer Besteigung des Mont Pila angestellt. Die Details dieser Versuche sind in den *Compt. rend. de l'acad.*, *T. XVIII*, *p.* 252, veröffentlicht.

Ich begnüge mich, die Resultate hieher zu schreiben, und daneben die für dieselben Temperaturen aus meinen Beobachtungen berechneten Spannkräfte:

Siedpunkt.	Spannkraft, beobachtet.	Spannkraft, berechnet.	Unterschied.	Siedpunkt.	Spannkraft, beobachtet.	Spannkraft, berechnet	Unterschied.
°C.	mm.	mm.	mm.	°C.	mm.	mm.	mm.
99,87	756,69	756,59	+0,10	96,80	679,63	677,07	+2,56
99,40	745,06	743,94	+1,12	96,38	666,94	666,75	+0,19
98,61	723,52	723,06	+0,46	95,95	655,79	656,33	— 0,54
98,36	716,45	716,56	— 0,11	95,49	645,99	645,33	+0,66
97,70	700,30	699,63	+0,67				

Man sieht, die Beobachtungen des Hrn. Marié stimmen mit der Formel so gut überein, als man es nur wünschen kann.

1) Neuere Beobachtungen der Art sind in dies. Ann., Bd. 65, S. 365 u. 368, mitgetheilt. *P.*

Digitized by Google

Spannkraft des Wasserdampfs von —32° bis —1° C.

Temperatur.	Spannkraft.	Unterschied.	Temperatur.	Spannkraft.	Unterschied.
°C.	mm.	mm.	°C.	mm.	mm.
— 32	0,310		— 16	1,179	0,095
— 31	0,336	0,026	— 15	1,284	0,105
— 30	0,365	0,029	— 14	1,398	0,114
— 29	0,397	0,032	— 13	1,521	0,123
— 28	0,431	0,034	— 12	1,656	0,135
— 27	0,468	0,037	— 11	1,803	0,147
— 26	0,509	0,041	— 10	1,963	0,160
— 25	0,553	0,044	— 9	2,137	0,174
— 24	0,602	0,049	— 8	2,327	0,190
— 23	0,654	0,052	— 7	2,533	0,206
— 22	0,711	0,057	— 6	2,758	0,225
— 21	0,774	0,063	— 5	3,004	0,246
— 20	0,841	0,067	— 4	3,271	0,267
— 19	0,916	0,075	— 3	3,553	0,282
— 18	0,996	0,080	— 2	3,879	0,326
— 17	1,084	0,088	— 1	4,224	0,345

Spannkraft des Wasserdampfs von 0° bis 100° C.

0	4,600		28	28,101	1,596
1	4,940	0,340	29	29,782	1,681
2	5,302	0,362	30	31,548	1,766
3	5,687	0,385	31	33,406	1,858
4	6,097	0,410	32	35,359	1,953
5	6,534	0,437	33	37,411	2,052
6	6,998	0,464	34	39,565	2,154
7	7,492	0,494	35	41,827	2,262
8	8,017	0,525	36	44,201	2,374
9	8,574	0,557	37	46,691	2,490
10	9,165	0,591	38	49,302	2,611
11	9,792	0,627	39	52,039	2,737
12	10,457	0,665	40	54,906	2,867
13	11,162	0,705	41	57,910	3,004
14	11,908	0,746	42	61,055	3,145
15	12,699	0,791	43	64,346	3,291
16	13,536	0,837	44	67,790	3,444
17	14,421	0,885	45	71,391	3,601
18	15,357	0,936	46	75,158	3,767
19	16,346	0,989	47	79,093	3,935
20	17,391	1,045	48	83,204	4,111
21	18,495	1,104	49	87,499	4,295
22	19,659	1,164	50	91,982	4,483
23	20,888	1,229	51	96,661	4,679
24	22,184	1,296	52	101,543	4,882
25	23,550	1,366	53	106,636	5,093
26	24,988	1,438	54	111,945	5,309
27	26,505	1,517	55	117,478	5,533

Digitized by Google

Temperatur.	Spannkraft.	Unterschied.	Temperatur.	Spannkraft.	Unterschied.
°C.	mm.	mm.	°C.	mm.	mm.
56	123,244	5,766	79	340,488	13,677
57	129,251	6,007	80	354,643	14,155
58	135,505	6,254	81	369,287	14,644
59	142,015	6,510	82	384,435	15,148
60	148,791	6,776	83	400,101	15,666
61	155,839	7,048	84	416,298	16,197
62	163,170	7,331	85	433,041	16,743
63	170,791	7,621	86	450,344	17,303
64	178,714	7,923	87	468,221	17,877
65	186,945	8,231	88	486,687	18,466
66	195,496	8.551	89	505,759	19,072
67	204,376	8,880	90	525,450	19,691
68	213,596	9,220	91	545,778	20,328
69	223,165	9,569	92	566,757	20,979
70	233,093	9,928	93	588,406	21,649
71	243,393	10,300	94	610,740	22,334
72	254,073	10,680	95	633,778	24,038
73	265,147	11,074	96	657,535	23,757
74	276,624	11,477	97	682,029	24,494
75	288,517	11,893	98	707,280	25,251
76	300,838	12,321	99	743,305	26,025
77	313,600	12,762	100	760,000	26,695
78	326,811	13,211			

VI. *Ueber die Anwendung einer neuen empirischen Formel auf die Spannung der Dämpfe; von Herrn* Emile Barry.

(*Compt. rend.*, *T. XX*, *p.* 1574.)

Um seine Versuche über die Spannkraft des Wasserdampfs mathematisch auszudrücken, hat Hr. Regnault die von Hrn. Biot aufgestellte Formel

$$\log y = a + b\alpha^t + c\beta^t \quad \ldots\ldots\ldots\ (E)$$

gewählt, in welcher y die Spannkraft des Dampfs für die Temperatur t, und a, b, c, α, β Constanten sind, die mittelst fünf Paare von Beobachtungen bestimmt werden [1]).

1) *Ann. de chim. et de phys.*, *Ser. III*, *T. XI*, *p.* 325. (S. S. 169 dieses Heftes.)

Dieser Physiker hatte zuvor die Formel des Hrn. Roche versucht, sie aber seinen Beobachtungen nicht so genügend gefunden, obwohl Hr. Magnus für die seinigen mit ihr zufrieden gestellt war[1]). Soll die Formel des Herrn Roche, auf die Spannung der Dämpfe angewandt, ein etwas grofses Temperaturintervall umfassen, so scheint mir nothwendig, sie um ein Glied zu vermehren, und diese so modificirte Formel ist es, die ich, als einfacher und eben so genau wie die des Hrn. Biot, statt dieser vorschlage. Die neue Formel kann so geschrieben werden:

$$\log y = \log 760 - \frac{ax + bx^2}{c - x} \; \ldots\ldots \; (H),$$

worin y die Spannkraft des Dampfs in Millimetern Quecksilber von 0°, x die Temperatur in Centesimalgraden, positiv unter, negativ über diesem Punkt, und a, b, c drei Constanten sind, die mittelst drei Paare von Beobachtungen berechnet werden. Hier drei solcher Paare, die ich von den Versuchen des Hrn. Regnault entlehne:

$$\begin{cases} x = 25 \\ y = 288{,}50 \end{cases} \quad \begin{cases} x = 50 \\ y = 91{,}98 \end{cases} \quad \begin{cases} x = 75 \\ y = 23{,}55. \end{cases}$$

Ich habe nicht das Paar [$x = 100$, $y = 4{,}60$] brauchen gewollt, weil die zahlreichen Bestimmungen, welche Hr. Regnault über die Spannung des Wasserdampfs bei 0° gemacht hat, wie er sagt, nicht so übereinstimmend sind, wie er wohl gewünscht hätte. Die von ihm gefundenen Zahlen liegen zwischen $4^{mm},52$ und $4^{mm},68$. Mit obigen Daten habe ich gefunden:

$$a = 5{,}694866 \; ; \; b = 9{,}00239202 \; ; \; c = 366{,}966.$$

Um diese Formel zu rechtfertigen, genügt es zu sagen, dafs ihre Angaben nur sehr wenig abweichen von der Formel des Hrn. Regnault, von der es schon erwiesen ist, dafs sie die Beobachtungen getreu darstellt. Nach dieser numerischen Verification, deren Resultate mir genügend erschienen, kam ich auf den Gedanken, die Formel

$$\log y = 760 - ax - bx^2 - cx^3 \; \ldots\ldots \; (P)$$

1) *Ibid.*, *T. XII*, *p.* 87. (Ann. Bd. 61, S. 247.)

zu nehmen, die Hr. Biot ehemals auf Dalton's Versuche über die Spannungen des Wasserdampfs zwischen 0° und 100° C. angewandt hat. Um diese Formel mit den beiden andern vergleichbar zu machen, berechnete ich die Coëfficienten *a*, *b*, *c* mittelst der drei oben erwähnten Paare, und ahmte darin Hrn. Biot nach[1]), der zu derselben Bestimmung ebenfalls von den Temperaturen 75, 50 und 25° ausgegangen ist. Sonach fand ich:

$$a = 0{,}01557056$$
$$b = 0{,}00004505528$$
$$c = 0{,}000000207632.$$

Die folgende Tafel erlaubt diese beide Formeln mit der des Hrn. Regnault zu vergleichen:

Temperatur.	Spannung, nach Regnault.	nach Formel *H*.	nach Formel *P*.
°C.	mm.	mm.	mm.
— 32	0,310	0,3196	0,3655
— 16	1,180	1,320	1,394
— 1	4,224	4,234	4,312
0	4,600	4,553	4,630
12	10,457	10,427	10,476
25	23,550	23,550	23,550
37	46,691	46,707	46,6795
50	91,982	91,980	91,980
62	163,170	163,133	163,185
75	288,517	288,500	288,500
87	468,221	468,313	468,086
99	733,305	733,242	733,158
100	760,000	760,000	760,000

Man sieht, daſs die Unterschiede zwischen den nach den drei Formeln berechneten Spannungen zwischen 0° und 100° sehr klein sind, und in die Beobachtungsfehler fallen; so daſs bei Gleichheit der Genauigkeit die einfachste Interpolationsweise den Vorzug verdient.

Ueberdieſs hat Herr Regnault zwischen 0° und —32° auf die Coëfficienten seiner Formel (*E*) verzichten gemuſst, weil sie zu groſse Spannungen gaben; er hat

1) *Traité des phys.* (*Paris*, 1816), *T. I*, *p.* 273.

eine andere derselben Art mit drei Coëfficienten berechnet, und stützt sich dabei auf die bei 0°, —16° und —32° beobachteten Spannungen. Ich habe geglaubt, die beiden Formeln (*H*) und (*P*), sowohl zwischen 0° und —32° als zwischen 0° und 100°, gebrauchen zu müſsen, damit man sehe, bis wie weit eine jede derselben über die Temperaturgränzen hinaus anwendbar sey, welche zur Bestimmung ihrer Constanten dienten. Das Resultat dieser Probe ist für den Ausdruck (*H*) günstig, der zwar unterhalb 0° etwas zu groſse Spannungen giebt, sich aber zwischen 0° und 100° der Erfahrung mehr anschlieſst als die Formel (*P*), und besonders die Formel (*E*).

Daraus schlieſse ich: 1) daſs man sich zu sehr übereilt hat, die ältere Formel des Hrn. Biot zu verwerfen, und dessen neue anzunehmen, deren Complication nicht durch einen Zuwachs von Genauigkeit vergütet wird; 2) daſs die Formel von Hrn. Roche, vermehrt um ein Glied x^2, mit Vortheil an die Stelle der beiden ersten gesetzt werden kann.

Ich habe ferner die Formel (*H*) auf die von den HH. Arago und Dulong zwischen 100° und 224° C. beobachteten Dampfspannungen angewandt, und sie verglichen mit der, welche diese Physiker gebrauchten. Diese letztere, durch ihre Einfachheit merkwürdige, ist:

$$y=(1+0{,}007153x)^5 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (b),$$

worin y die Spannkraft des Dampfs in Atmosphären von 760 Millm., und x die Temperatur bezeichnet, letztere gezählt von 100°, positiv nach oben, negativ nach unten. Mit denselben Bezeichnungen wird unsere Formel:

$$\log y=\frac{ax-bx^2}{c+x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (h).$$

Um a, b, c zu berechnen, bin ich ausgegangen von den drei Coordinatpaaren:

$$\begin{cases} x=124{,}15 \\ y=23{,}934 \end{cases} \quad \begin{cases} x=107 \\ y=17{,}219 \end{cases} \quad \begin{cases} x=33{,}3 \\ y=2{,}8705. \end{cases}$$

Das erste und das dritte dieser Paare sind beobach-

Digitized by Google

tet worden; das zweite habe ich abgeleitet aus den zwei einander sehr nahe liegenden Beobachtungen:

$$\begin{cases} x=107,4 \\ y=\ 17,285 \end{cases} \quad \begin{cases} x=106,8 \\ y=\ 17,185. \end{cases}$$

Ich bediente mich dazu einer Formel von Roche:

$$y=\frac{a'x}{c'+x},$$

deren Constanten a', c' ich mittelst dieser beiden Systeme von Werthen bestimmt. Somit habe ich gefunden:

$$a=8,4144436\ ;\ b=0,00626304\ ;\ c=563,384.$$

Die Formel (h) hat das Ueble, daſs sie die Auflösung einer Gleichung zweiten Grades erfordert, wenn man die Dampfspannung kennt, und daraus die entsprechende Temperatur ableiten will. Deshalb nahm ich meine Hülfe zu einer andern Modification der Roche'schen Formel. Kürze halber $\log y = z$ machend, setzte ich:

$$x=\frac{Cz-Bz^2}{A-z}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (h'),$$

und fand sonach aus den oben erwähnten drei Paaren:

$$C=264,0876\ ,\ B=24,67861\ ,\ A=3,934390.$$

Die folgende Tafel enthält die Resultate des Vergleichs der drei Formeln (b), (h) und (h') mit den Beobachtungen. Unter den drei letzten Spalten findet man die gröſste Abweichung jeder Formel und die mittlere derselben, d. h. die arithmetische Summe ihrer Abweichungen, dividirt durch deren Anzahl.

Dampfspannung. Atmosphären.	Temperaturen, beobachtet.	nach (b).	nach (h).	nach (h').
2,1436	123°,7 C.	123°,03 C.	123°,51 C.	123°,52 C.
2,8705	133 ,3	132 ,82	133 ,30	133 ,30
4,5735	149 ,7	149 ,68	149 ,99	149 ,97
6,4977	163 ,4	163 ,46	163 ,57	163 ,54
7,3755	168 ,5	168 ,68	168 ,70	168 ,67
11,632	188 ,5	188 ,57	188 ,35	188 ,33
17,185	206 ,8	207 ,11	206 ,89	206 ,90
17,285	207 ,4	207 ,40	207 ,18	207 ,19
18,504	210 ,5	210 ,79	210 ,62	210 ,62
21,555	218 ,4	218 ,56	218 ,53	218 ,53
23,934	224 ,15	224 ,02	224 ,15	224 ,15
Gröſste Abweichung		— 0 ,67	+ 0 ,29	+ 0 ,27
Mittlere Abweichung		0 ,22	0 ,14	0 ,14

Digitized by Google

Diese Tafel zeigt, daſs die Angaben der Formeln (*h*) und (*h'*) fast identisch sind; (*h*) und (*h'*) stimmen etwas besser als (*b*) mit der Gesammtheit der Beobachtungen; doch besitzen sie diesen Vorzug nur von 100° bis etwa 140° C. Ueberdieſs weiſs man, daſs die Herren Arago und Dulong sich zwischen 100° und 140° C. nicht der Formel (*b*) zur Entwerfung ihrer schätzbaren Tafel über die Dampfspannungen bedient, sondern sie innerhalb dieses Intervalls durch eine andere Formel, durch die von Tredgold, ersetzt haben [1]). Diese Physiker waren also die Ersten, welche die Anwendung ihrer Formel beschränkten, und nur dieser Beschränkung wegen weicht sie den Formeln (*h*) und (*h'*), deren Anwendung, bei zweckmäſsiger Bestimmung ihrer Constanten, weiter ausgedehnt werden kann.

Die logarithmischen Formeln sind mehrer anderer Anwendungen fähig; denn sehr unähnliche Phänomene können einem selben Stetigkeitsgesetze oder wenig verschiedenen Gesetzen unterworfen seyn. Ich erwähne nur des Durchgangs der strahlenden Wärme durch starre oder flüssige Schichten von verschiedener Dicke. Sey

$$\log y = \log Y - \frac{ax + bx^2}{C + x},$$

worin y die bis zu einer veränderlichen Dicke x durchgelassene Wärmemenge bezeichnet, und die Dicke entweder von Null oder von einer gegebenen Dicke an gezählt werden kann. Y ist offenbar die Wärmemenge, die $x = o$ entspricht. Ich übersetzte diese Formel in Zahlen für den Fall, daſs die von einer Locatelli'schen Lampe ausgestrahlte Wärme durch Schichten von Glas, klarem Bergkrystall, Rüböl oder destillirtem Wasser geht, und habe gefunden, daſs die Formel die vier von Herrn Melloni angestellten Beobachtungsreihen, deren Herr Biot in seinem Bericht erwähnt [2]), getreu wiedergiebt.

1) *Ann. de chim. et de phys*, *T. XLIII*, *p.* 74. (Ann. Bd 18, S. 437.)

2) *Mémoires de l'acad. des sciences*, *T. XIV*, *p.* 433. (Ann. Bd. 38, S. 1. Bd. 39, S. 250, 436 u. 544.)

Diese Interpolation ist weniger mühsam als die, bei welcher man die gesammte Wärmefluth in drei partielle Fluthen zerlegt, eine von rascher, eine von mittlerer und eine von langsamer Auslöschung. Der gelehrte Berichterstatter repräsentirt eine jede dieser drei Fluthen durch ein geschlossenes Integral, und indem er diese drei Integrale für jede bekannte Dicke addirt, erhält er die durchgegangene Wärmemenge. Die Idee dieser Zerlegung ist sinnreich, allein wenn man die Curve, welche die Dicken zu Abscissen und die durchgelassenen Wärmemengen zu Ordinaten hat, durch eine einzige Gleichung charakterisiren kann, so ist dieſs besser, als jede ihrer Ordinaten durch drei auf einander gesetzte Stücke zu construiren. Durch die von mir vorgeschlagene Formel vermeidet man diese Complication, und hat überdieſs nur vier Constanten zu bestimmen, während man zur Berechnung der drei Integrale deren sechs bedarf.

VII. *Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe.*

Unter diesem Titel hat Hr. Holtzmann, Professor der Physik und Mathematik am Groſsherzoglichen Lyceum zu Mannheim, kürzlich ein Schriftchen veröffentlicht, dessen Inhalt mit dem Gegenstande der beiden letzten Aufsätze dieses Heftes in so naher Beziehung steht, daſs wir nicht umhin zu können glauben, Einiges daraus mitzutheilen.

Hr. H. schlägt bei seinen Untersuchungen den zuerst von Clapeyron[1]) betretenen Weg ein, in Bezug auf dessen Arbeit er bemerkt, daſs die gewonnenen Re-

1) Ann. Bd. 59, S. 446.

Digitized by Google

sultate zwar richtig sind, so weit die Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac Gültigkeit haben, daſs aber die Formeln eine unbestimmte Function enthalten, welche bei dem von ihm eingeschlagenen directen Wege bestimmt wird, wodurch jene Formeln erst Anwendbarkeit und rechte Bedeutung gewinnen.

Auf diesem Wege gelangt Hr. H. unter andern zu einer Relation zwischen der Spannkraft und der Temperatur des Wasserdampfs, deren Herleitung folgendermaſsen gegeben wird.

Zu besserem Verständnisse denkt sich der Verfasser Gas in einem vertikalen Cylinder von 1^{mq} Querschnitt, der undurchdringlich ist, nach oben durch einen beweglichen Kolben abgeschlossen. Dieser Kolben muſs durch ein Gewicht p Kilogramm, gleich der Pressung des Gases niedergedrückt werden, wenn das Gas in seinem Volum beharren soll. Zu diesem Gase trete die unendlich kleine Wärmemenge dq, und durch Verminderung des Drucks dehne sich das Gas aus, bis es die frühere Temperatur wieder hat. Diese Ausdehnung sey dv; sie wird erlangt dadurch, daſs das Gas den Kolben und den darauf lastenden Druck um dv in die Höhe schiebt. Die Wirkung der Wärme dq ist daher die Arbeit $(p-dp)$ Kilogramme auf dv Meter oder $(p-dp).dv$ Kilogramme auf 1 Meter erhoben.

dp drückt dabei die nothwendige Verminderung des Druckes aus; sie ist unendlich klein, und fällt daher gegen p weg. Die Arbeit der Wärme ist dann $p.dv$, und die Arbeit der Wärmeeinheit:

$$\frac{p.dv}{dq},$$

wo Wärmeeinheit diejenige Wärme genannt ist, welche bei ihrem Zutritt zu Gas die mechanische Arbeit a zu leisten vermag, d. h. um bestimmte Maaſse zu gebrauchen, die a Kilogramme auf 1 Meter erheben kann. Der letzte Ausdruck ist hienach gleich a.

Digitized by Google

Ist ϱ die Dichte des Gases, d. h. das Gewicht der Volumeinheit, so ist das Gewicht von $m^{\text{Kil.}}$ Gas:

$$v = \frac{m}{\varrho},$$

und $dv = -\frac{m d\varrho}{\varrho^2}$, daher obige Gleichung:

$$-\frac{mp.d\varrho}{\varrho^2.dq} = a \quad . . (1).$$

Die Wärmemenge q in 1 Kil. Gas hängt ab von dem Drucke p, unter dem das Gas steht, der Dichte ϱ und der Temperatur t des Gases. Diese drei Gröſsen hängen unter sich durch die bekannte Relation (das Mariotte'sche und das Gay-Lussac'sche Gesetz)

$$p = k\varrho(1 + \alpha t) . . . (2)$$

zusammen, in der k ein für jedes Gas besonderer Coëfficient, und α der Ausdehnungscoëfficient des Gases bei Erwärmung ist. Es läſst sich daher q als eine Function von p und ϱ allein betrachten. Dann ist das vollständige Differential derselben:

$$dq = \frac{dq}{dp}.dp + \frac{dp}{d\varrho}.d\varrho,$$

wofür das obige dp und $d\varrho$ so von einander abhängen, daſs die Temperatur constant bleibt. Die Gleichung (2) giebt aber für diesen Fall:

$$dp = k(+\alpha t).d\varrho = \frac{p}{\varrho}.d\varrho.$$

und damit wird:

$$dq = \left(\frac{p}{\varrho}.\frac{dq}{dp}. + \frac{dq}{d\varrho}\right).d\varrho.$$

Oben bezieht sich der Zuwachs der Wärmemenge auf $m^{\text{Kil.}}$ Gas, hier bezieht sich q auf die Einheit des Gewichts; wird die letzte Beziehung beibehalten, so ist oben $m.dq$ für dq zu setzen, und es wird nun die Gleichung (1):

$$-\frac{p}{p\varrho . \frac{dq}{dp} + \varrho^2 \frac{dq}{d\varrho}} = a$$

oder

$$p.\frac{dq}{dp}+\varrho.\frac{dq}{d\varrho}=-\frac{p}{a\varrho}.$$

Das allgemeine Integral dieser Partial-Differentialgleichung ist:

$$q=F-lnp.\frac{p}{a\varrho},$$

wo F eine unwillkührliche Function von $\frac{p}{\varrho}$ bedeutet.

Da aber $\frac{p}{\varrho}=k(1+\alpha t)$ ist, so kann man für diese Function auch eine Function von t setzen, welche man bei ihrer Willkührlichkeit auch durch

$$F_t+\frac{k(1+\alpha t)}{a}.lnp_0$$

ausdrücken kann, worin p_0 einen willkührlichen, aber constanten Druck ausdrücken soll. Mit diesem wird dann

$$q=F_t-\frac{k(1+\alpha t)}{a}.ln\frac{p}{p_0} \quad . . (3).$$

Es bleibt nun noch die Function F_t zu bestimmen. Aus den Versuchen von Dulong über die Werthe des Verhältnisses beider specifischen Wärmen geht hervor, daſs dieses Verhältniſs von der Temperatur unabhängig ist. Er hat bekanntlich diese Werthe von den Tönen hergeleitet, welche eine Pfeife, die mit verschiedenen Gasarten gefüllt ist, giebt. Dabei führt er einen Versuch an, bei welchem eine Pfeife, die bei 22° C. einen Ton gab, der sich durch 500 Schwingungen in der Secunde ergiebt, bei 4° C. nur 484,8 Schwingungen hervorrief [1]). Bleibt nun das Verhältniſs der specifischen Wärmen in diesem Intervall dasselbe, so verhalten sich die Schwingungszahlen wie

$$\sqrt{1+0,003665.22} : \sqrt{1+0,003665.4},$$

woraus man, wenn man vom ersten Tone ausgeht, für den zweiten die Schwingungszahl 484,5 erhält. Die Uebereinstimmung des berechneten und beobachteten Werthes ist so groſs, daſs eine Aenderung in dem Verhältnisse der

1) S. Ann. Bd. 16, S. 199 u. 438.

Digitized by Google

beiden specifiſchen Wärmen durch Temperaturerhöhung wenigſtens sehr klein seyn muſs.

Ist nun dieses Verhältniſs unabhängig von der Temperatur, so ergiebt sich ganz einfach $\frac{dF}{dt}$ constant, und

$$F_t = A + bt,$$

wo A und b Constanten sind.

Für diese Annahme sprechen noch die directen Versuche von Gay-Lussac und Welter, welche das betrachtete Verhältniſs als unabhängig von der Temperatur und dem Druck gefunden haben wollen; dann die Uebereinstimmung der von Delaroche und Bérard aufgefundenen Werthe der specifiſchen Wärme mit denen anderer Beobachter, während doch von den beiden Genannten die Gase, bis auf 100° erhitzt, dem Versuch unterworfen wurden, wogegen bei den Beobachtungen Anderer die Gase nur eine Temperatur von 10° bis 20° hatten.

Auch die Versuche von Dulong und Petit über die Abkühlung durch Gase zeigen, daſs die specifiſche Wärme der Gase unabhängig ist von der Temperatur. Diese beiden Physiker fanden nämlich, daſs diese Abkühlung sich zwar mit dem Drucke, nicht aber mit der Temperatur der Gase ändere.

Aus allem diesen geht hervor, daſs man bei dem jetzigen Stande der Wiſſenschaft berechtigt ist, wenigstens als ziemlich weit gehende Annäherung, für die Function F_t die bestimmte $A+bt$ zu setzen.

Damit wird denn die Formel (3):

$$q = A + bt - \frac{k(1+\alpha t)}{a} . ln \frac{p}{p_0} \quad . . . (4).$$

Es ist noch übrig, das noch ganz willkührliche a festzustellen. Bei dieser Willkührlichkeit läſst sich die davon abhängige Wärmeeinheit selbst willkührlich wählen, und umgekehrt a zu dieser bestimmen. Der Verfaſser nimmt also an, wie dieſs gewöhnlich geschieht, die Wärme-

Digitized by Google

menge, welche 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen vermag, als Wärmeeinheit.

Nach der Bestimmung von Delaroche und Bérard ist die specifische Wärme der atmosphärischen Luft bei einem Druck von einer Atmosphäre $=0{,}267$ der eben festgestellten Wärmeeinheit. Setzt man $p_0 =$ dem Druck einer Atmosphäre, so erhält man $ln.\frac{p}{p_0}=0$, und also für atmosphärische Luft $c=b=0{,}267$.

Eben so ist für atmosphärische Luft $\frac{c}{c_1}$ aus der Schallgeschwindigkeit berechnet $=1{,}415$, ebenfalls beim Drucke einer Atmosphäre. Daher $0{,}267=1{,}415\,c_1$ und $c_1=0{,}189$, womit $c-c_1=0{,}078$ sich ergiebt. Aber $c-c_1=\frac{k\alpha}{a}$ . . [1]).

Es ist $k=\frac{p}{\varrho(1+\alpha t)}$. Dabei ist p der Druck auf 1^{mq}, und ϱ das Gewicht von 1^{mc} atmosphärischer Luft unter jenem Druck und bei der Temperatur t°. Nun ist für den Druck einer Atmosphäre $p=10333$ Kil., und für die Temperatur des Eispunkts $\varrho=1299$ Kil. Daher

$$k=\frac{10333}{1{,}299}=7955.$$

α ist nach Magnus gleich 0,003668. Mit diesen Zahlen erhält man:

$$a=\frac{k\alpha}{c-c_1}=\frac{7955\times0{,}003668}{0{,}078}=374.$$

1) Es ist nämlich:

$$c=b-\frac{k\alpha}{a}.ln\frac{p}{p_0} \text{ und } c_1=b-\frac{k\alpha}{a}.ln\frac{p}{p_0}-\frac{k\alpha}{a}.$$

Dieſs geht aus (3) hervor, da:

$$c=\frac{dq}{dt}=\frac{dF}{dt}-\frac{k\alpha}{a}.ln\frac{p}{p_0}$$

$$c_1=\frac{dq}{dt}+\frac{dq}{dp}.\frac{dp}{dt}=\frac{dF}{dt}-\frac{k\alpha}{a}.ln\frac{p}{p_0}-\frac{k\alpha}{a},$$

wobei die Einheit des Gewichts zum Grunde liegt.

Digitized by Google

Dieſs Resultat sagt: die Wärme, welche 1 Kil. Wasser um 1° C. erwärmt, ist vermögend 374 Kil. auf 1 Meter zu heben. Dasselbe Resultat erhält Clapeyron, giebt es nur in weniger übersichtlichen Zahlen.

Die Ansicht, daſs der Wasserdampf im Maximum seiner Spannkraft eine von dieser Kraft, und also auch von der Temperatur unabhängige Wärmemenge enthalte, ist durch die neuesten Versuche von De Pambour bestätigt worden [1]). Ist daher q diese Wärmemenge, p die Spannkraft und t die Temperatur des Wasserdampfs, so ist nach (4):

$$q = A + bt - \frac{k(1+\alpha t)}{a} . ln \frac{p}{p_0}.$$

Setzt man nun für $p = p_0$, $t = o$, d. h. zählt die Temperaturen von dem Punkte an, bei dem die Spannkraft der Dämpfe gleich p_0 oder nach dem Früheren gleich einer Atmosphäre ist, also vom Siedpunkte an, so hat man: $q = A$, was abgezogen von (4) giebt:

$$o = bt - \frac{k(1+\alpha t)}{a} . ln \frac{p}{p_0},$$

oder:

$$log \frac{p}{p_0} = \frac{abt}{k(1+\alpha t)} = \frac{ab}{k\alpha} . \frac{t}{\frac{1}{\alpha} + t}.$$

Diese Gleichung giebt die Spannkräfte für die Temperatur t, vom Siedpunkte an gezählt.

Führt man briggische Logarithmen ein, drückt die Spannkraft in Atmosphären aus, und setzt $M . \frac{ab}{k\alpha} = B$, wobei M der Modul der briggischen Logarithmen ist, so hat man:

$$log \frac{p}{p_0} = \frac{Bt}{\frac{1}{\alpha} + t}.$$

Aus einigen der Versuche von Magnus ergiebt sich hienach:

1) Ann. Bd. 59, S. 587.

$$\log \frac{p}{p_0} = \frac{5{,}2555\, t}{336{,}22 + t} \ldots (5),$$

eine Formel, deren Uebereinstimmung mit der Erfahrung aus nachstehender Formel erhellen wird.

p	t berechnet.	t nach Magnus.	Unterschied.	p	t berechnet.	t nach Magnus.	Unterschied.
mm.				mm.			
9,43	— 88,49	— 88,66	+ 0,83	114,65	— 45,45	— 45,26	+ 0,19
9,88	— 88,79	— 88,02	+ 0,77	284,97	— 25,20	— 25,17	+ 0,03
22,24	— 75,95	— 76,15	— 0,20	387,15	— 17,72	— 17,75	— 0,03
71,20	— 55,03	— 55,10	— 0,07	542,54	— 9,09	— 9,20	— 0,11
73,74	— 54,34	— 54,30	+ 0,04	563,50	— 8,09	— 8,19	— 0,10

p Atmosphären.	t berechnet.	t nach Arago u. Dulong.	Unterschied.	p Atmosphären.	t berechnet.	t nach Arago u. Dulong.	Unterschied.
2,14	+ 22,56	22,42	— 0,14	17,185	+ 103,3	103,2	— 0,1
2,8705	32,09	31,77	— 0,32	17,285	103,6	103,9	+ 0,3
4,5735	48,31	48,37	+ 0,06	18,504	106,8	107,2	+ 0,4
6,4977	61,51	61,30	— 0,21	21,555	114,3	114,7	+ 0,4
7,3755	66,50	66,54	+ 0,04	23,934	119,6	120,1	+ 0,5
11,632	85,52	85,78	+ 0,26				

Die hier für die Spannkraft der Dämpfe erhaltene Formel ist übrigens keine andere als die, auf welche schon früher Roche und dann v. Wrede [1]) kamen, aber auf anderen Wegen, bei welchen von ihnen die Bedeutung des Coëfficienten B nicht erkannt wurde.

Will man die Temperatur von 0° C. an zählen, und die Pressungen in Millimeter Quecksilberhöhe angeben, so kann man in der Formel (5) zuerst $t_1 - 100$ für t setzen. Dieſs giebt:

$$\log \frac{p}{760} = \frac{5{,}2555\, t_1 - 525{,}55}{236{,}22 + t_1},$$

dann hat man in der Formel (5) für $t = -100$; $p = 4{,}529$, also:

$$\log \frac{4{,}529}{760} = \frac{-525{,}55}{236{,}22}.$$

1) Ann. Bd. 53, S. 225.

Digitized by Google

Zieht man beide Gleichungen von einander ab, so erhält man:

$$\log \frac{p}{4{,}529} = \frac{\left\{5{,}2555 + \frac{525{,}55}{236{,}22}\right\} t_1}{236{,}22 + t_1},$$

oder:

$$\log p = 0{,}65600 + \frac{7{,}4804 . t_1}{236{,}22 + t_1}.$$

Diese Formel unterscheidet sich nur sehr wenig durch etwas andere Coëfficienten von der Magnus'schen [1]). Ich hätte auch, sagt der Verfasser, von dieser Formel ausgehen können.

VIII. *Bodentemperatur zu Trevandrum.*

Herr Caldecott hat auf dem Hügel der Sternwarte zu Trevandrum in Indien (8° 30′ 32″ N. und $5^h\ 7^m\ 59^s$ O. v. Greenwich) in einen Boden, der aus einem Conglomerat (Laterit) besteht, drei von Adie in Edinburg angefertigte Thermometer respective bis zur Tiefe von 3, 6 und 12 pariser Fuſs versenkt, und dieselben länger als ein Jahr täglich (mit Ausnahme der Sonntage) vier Mal (alle sechs Stunden) beobachtet. Die monatlichen Mittel ergeben die Resultate, welche, nebst denen der Lufttemperatur und der Regenmenge, in folgender Tafel zusammengestellt sind.

	Bodentemperatur.			Mittlere Lufttemperatur.	Regenmenge.
	Tiefe 12 F.	Tiefe 6 F.	Tiefe 3 F.		
1842.	F°.	F°.	F°.	F°.	Zoll.
Mai	86,805	87,349	86,742	80,09	14,513
Juni		86,742	84,977	79,32	8,747
Juli	86,938	85,789	83,901	78,73	5,951
August	86,383	84,940	83,147	77,90	4,424
September . . .	85,930	85,052	84,237	78,28	7,723
October	85,843	85,237	84,437	79,10	5,492
November . . .	85,783	84,899	83,307	77,82	8,805
December . . .	85,535	85,057	84,507	78,96	0,164

1) Ann. Bd. 61, S. 225.

Digitized by Google

	Bodentemperatur.			Mittlere Lufttemperatur.	Regenmenge.
	Tiefe 12 F.	Tiefe 6 F.	Tiefe 3 F.		
1843.	F°.	F°.	F°.	F°.	Zoll.
Januar	85,783	86,212	85,759	79,05	1,154
Februar	86,085	86,809	88,047	80,09	0,033
März	86,643	88,579	89,457	82,36	1,721
April			89,114	81,58	9,274
Mai		88,224	87,202	80,62	15,989
Juni		85,739	83,549	78,21	16,932
Juli	86,043	83,879	81,777	77,29	10,899

Aus diesen Resultaten erhellt, daſs das Eindringen der Sonnenwärme in den Boden im Allgemeinen nahe beim Aequator dem unter unsern Breiten gleicht. Selbst in 12 Fuſs Tiefe ist die jährliche Periode noch nicht verschwunden; ihr Umfang beträgt daselbst noch $2\frac{1}{4}$ °F., während sie in den beiden geringeren Tiefen von 6 und 3 Fuſs auf respective $5\frac{1}{2}$ und 8° steigt, und zugleich Unregelmäſsigkeiten zeigt. Wenigstens für die östliche Halbkugel, bemerkt Hr. C., ist also Boussingault's Behauptung unrichtig, daſs unter dem Aequator die jährliche Temperatur im Schatten nur einen Fuſs tief in den Boden eindringe.

Das merkwürdigste Resultat der obigen Versuche ist der groſse Ueberschuſs der Bodentemperatur über die mittlere Lufttemperatur. Es widerlegt dieſs, sagt Hr. C., sowohl die Meinung von Boussingault, welcher beide Temperaturen als gleich annimmt, als auch die von Kupffer, welcher die erstere Temperatur unter dem Aequator für niedriger hält als die letztere[1]). (*Proceed. of the R. Soc. Edinb., Vol. II, p.* 29.)

1) Es fragt sich wohl dabei, wie die mittlere Lufttemperatur bestimmt worden sey. Darüber findet sich a. a. O. nichts gesagt, auch nicht in früheren Notizen des Verfassers im *Bullet. de Bruxelles*, *T. IX, p.* 303 u. 491, woselbst übrigens die Bodentemperaturen noch nach den unberichtigten Thermometern gegeben sind. *P.*

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. II. ERGÄNZUNG. St. 2.

I. *Ueber die Liquefaction und Solidification der gewöhnlich als Gase existirenden Körper;* *von* ***Michael Faraday.***

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. in einem besonderen Abzuge aus den *Philosoph. Transact. f.* 1845, *pt. I.* — Eine vorläufige Notiz von dieser Untersuchung ward schon im Bd. 64, S. 467 gegeben.)

Die früher von mir über die Liquefaction der Gase angestellten Versuche [1]) und die diesem Zweig der Kenntniſs von Zeit zu Zeit besonders durch Hrn. Thilorier hinzugefügten Thatsachen [2]), haben in mir beständig den Wunsch erregt, die Untersuchung wieder aufzunehmen. Dieses, nebst Betrachtungen entspringend aus der anscheinenden Einfachheit und Einheit der Molecularconstitution aller im Gas- oder Dampfzustand befindlichen Körper, welche nach den durch Hrn. Cagniard de la Tour's Versuchen gegebenen Fingerzeigen ein einfaches Gesetz ihres Uebergangs in den flüssigen Zustand erwarten lassen, so wie auch die Hoffnung, Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, entweder als flüssige oder als starre Körper, und den letzteren wahrscheinlich als Metall zu erblicken, haben mich kürzlich veranlaſst, viele Versuche über diesen Gegenstand anzustellen. Hat der Erfolg auch nicht ganz meinem Wunsche entsprochen, so hoffe ich doch, daſs einige der erlangten Resultate und die Mittel zu ihrer Erlangung Interesse für die K. Gesellschaft haben werden, besonders da die letzteren einer weiteren Anwendung fähig sind, als ich Gelegenheit hatte von ihnen

1) *Philosoph. Transact.* 1823, *pp.* 160, 189.

2) *Ann. de chim. et de phys.* 1835, *T. LX*, *p.* 427, 432.

zu machen. Meine Absicht war, wie die von Andern, die Gase zugleich einem bedeutenden Druck und einer bedeutend niedrigen Temperatur auszusetzen. Um den Druck hervorzubringen, gebrauchte ich die mechanische Kraft zweier auf einem Tische befestigten Luftpumpen. Bei der ersten Pumpe hielt der Kolben einen Zoll im Durchmesser, bei der zweiten nur einen halben. Beide Pumpen waren durch ein Verbindungsrohr so verknüpft, daſs die erstere das Gas in und durch die Ventile der zweiten trieb, und dann konnte die zweite das schon bis zehn, funfzehn oder zwanzig Atmosphären verdichtete Gas unter einem viel höheren Druck in den für dasselbe bestimmten Recipienten treiben.

Die zu versuchenden Gase wurden in Gasometern oder Gasflaschen entweder bereitet oder aufbewahrt, und, wenn man die Pumpen fortlieſs, in starken Glasgefäſsen entwickelt und unter Druck in die Condensationsröhren gebracht. Wenn die Gase über Wasser standen oder auch Wasser enthielten, gingen sie auf ihrem Wege von den Recipienten zu der Pumpe durch ein Gewinde von dünnem Glasrohr, das in einem Gefäſs mit einer guten Mischung von Eis und Salz enthalten war, also die Temperatur 0° F. besaſs. Das sich condensirende Wasser hatte sich sämmtlich in den beiden ersten Zollen des Gewindes abgelagert.

Die Condensationsröhren waren von grünem Bouteillenglase, von $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ Zoll in äuſserem Durchmesser, und von $\frac{1}{42}$ bis $\frac{1}{30}$ Zoll in Glasdicke. Sie waren hauptsächlich zweierlei Art, und hatten eine Länge von etwa 9 bis 11 Zoll. Die einen hatten, bei horizontaler Lage, gegen das eine Ende hin eine Biegung nach unten, um in ein kaltes Bad getaucht zu werden (Taf. III, Fig. 1): die andern besaſsen die Gestalt eines umgekehrten Hebers und konnten erforderlichenfalls an ihrer Krümmung eben so abgekühlt werden (Fig. 2). In den geraden Theil der horizontalen Röhre und in den längeren Schenkel

Digitized by Google

der heberförmigen wurden, wenn es nöthig war, Druck-Anzeiger (*pressure gauges*) gesteckt.

Mittelst Kappen, Hähne und Verbindungsstücke wurden die Glasröhren mit den Pumpen verknüpft, und letztere, von Messing, waren wie die gewöhnlich zu Gasversuchen dienenden eingerichtet, nur waren sie klein und sorgfältig gearbeitet. Die Kappen hatten eine solche Gröſse, daſs die Enden der Röhren frei hineingingen; sie waren inwendig mit Ringen oder einer Schraubenmutter versehen, an welchem der Kitt festsaſs. Die Enden der Röhren waren rauhgefeilt, und wenn eine Kappe darauf befestigt werden sollte, wurde sowohl diese als das Röhrenende so warm gemacht, daſs der Kitt [1]) in Berührung mit diesen Theilen vollständig schmolz, ehe beide zusammengebracht und gehörig ineinandergesteckt waren. Diese Verkittungen ertrugen einen Druck von 30, 40 bis 50 Atmosphären, und versagten unter hundert Fällen nur ein einziges Mal, wo auch nicht einmal eine völlige Trennung der Theile eintrat, sondern nur ein kleiner Leck entstand.

Die Kappen, Hahnstücke und Verknüpfer (*Connectors*) hatten sämmtlich gleichen Schraubengang, so daſs sie auf jede erforderliche Weise combinirt werden konnten. Zum Verschlieſsen der Oeffnungen oder Enden der Kappen etc. dienten solide Schraubenstöpsel, während die Ueberdeckung und Verschlieſsung der Hahnstücke durch hohle Stöpsel mit Schraubenmuttern geschah. Alle diese Schraubenverbindungen wurden durch Bleiringe (*leaden washers*) dicht gemacht, und da ich diese von verschiedener Dicke hatte, von $\frac{4}{8}$ bis $\frac{12}{8}$ des Abstandes der Schraubengänge von einander, so konnten sie leicht so gewählt werden, daſs beim Zusammenschrauben Alles luftdicht wurde und zugleich jeder Theil des Apparats in seine rechte Stellung kam.

1) Fünf Theile Harz, ein Theil gelbes Wachs und ein Theil rother Ocker zusammengeschmolzen.

Ich habe oft einen Druck von funfzig Atmosphären in diese Röhren versetzt, und (mit einer einzigen Ausnahme) kein Unglück oder Miſslingen gehabt. Mit Hülfe des Hrn. Addams habe ich ihre Stärke durch hydrostatischen Druck geprüft und folgende Resultate erhalten: Eine Röhre von 0,24 Zoll äuſserem Durchmesser und 0,0175 Zoll Wanddicke barst bei einem Druck von 67 Atmosphären, die Atmosphäre zu 15 Pfund auf den Quadratzoll gerechnet. Eine gebrauchte Röhre von der Gestalt Fig. 1, Taf. III, die 0,225 Zoll im äuſseren Durchmesser und 0,03 Zoll in Wanddicke hielt, ertrug einen Druck von 118 Atmosphären ohne zu bersten, und ohne daſs die Kappen oder der Kitt nachgaben; sie wurde dann zu fernerem Gebrauch aufgehoben.

Eine Röhre, wie ich sie zur Entwicklung der Gase unter Druck angewandt, von 0,6 Zoll äuſserem Durchmesser und 0,035 Zoll Wanddicke, barst bei 25 Atmosphären.

Nach diesen Daten war es leicht, Röhren auszulesen, die stark genug waren, jeden Druck zu ertragen, der muthmaſslich bei einem gegebenen Versuch in ihnen ausgeübt werden würde.

Das Instrument zur Schätzung des Drucks, welchem das Gas in der Condensationsröhre unterworfen ward, war von gleicher Art wie das früher beschriebene [1]), bestand aus einer kleinen, oben verschlossenen Glasröhre, in welcher sich eine Quecksilbersäule bewegte. Mit dem Ausdruck: 10 oder 20 Atmosphären, ist eine Kraft gemeint, die im Stande ist eine gegebene Portion Luft auf 0,1 oder 0,05 des Volums zusammenzudrücken, welches sie unter dem Drucke einer Atmosphäre von 30 Zoll (engl.) Quecksilber einnimmt. Die Meſsröhren hatten eine mit schwarzem Firniſs und auch mit Tusch aufgetragene Skale; es giebt einige Gase, die im condensirten Zustand den Firniſs flüssig machen, die Tusche hält sich

1) *Philosoph. Transact.* 1823, *p.* 192.

Digitized by Google

aber dann. Zur ferneren Vorsicht war eine genaue Copie der Meſsröhre auf Papier gezeichnet, um auf die Auſsenseite der Verdichtungsröhre angebracht zu werden. In vielen Fällen wurde, nach Beendigung des Versuchs, der Druck aus dem Innern des Apparats entfernt, um zu ermitteln, ob das Quecksilber in der Meſsröhre auf seinen anfänglichen oder Ausgangspunkt zurückkehren würde.

Um diese Röhren zu erkälten, wurde Thilorier's Gemisch von starrer Kohlensäure und Aether angewandt. Eine etwas über vier Kubikzoll fassende Schale von Steingut wurde in eine ähnliche, etwas gröſsere gesetzt, eine drei- oder vierfache Lage Flanell zwischen beide gelegt, und dann das Gemisch zum Bade in die innere Schale gebracht. Ein solches Bad ist leicht auf 20 oder 30 Minuten anwendbar, indem es diese ganze Zeit hindurch starre Kohlensäure enthält. Die angewandten Röhren ertragen, ohne zu springen, die plötzliche Eintauchung in dasselbe.

Da meine Hoffnungen auf einen den früheren übertreffenden Erfolg mehr auf Temperaturerniedrigung als auf den in diesen Röhren hervorzubringenden Druck begründet waren, so bemühte ich mich, einen noch gröſseren Grad von Kälte zu erzeugen. In der That lassen sich einige Resultate durch Kälte erlangen, die man durch Druck nicht hervorzubringen im Stande ist. So ist bisher noch keine Flüssigkeit durch irgend einen Druck verfestet worden. Ferner könnte der merkwürdige, von Cagniard de la Tour entdeckte Zustand, welchen Flüssigkeiten bei einer gewissen Wärme annehmen, bei einigen der zu untersuchenden Körper, z. B. Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, u. s. w. unterhalb der Temperatur liegen, die dem Bade von starrer Kohlensäure und Aether eigen ist; und in diesem Fall würde kein Druck, den irgend ein Apparat aushalten könnte, im Stande seyn, sie in den flüssigen oder starren Zustand zu versetzen.

Um diesen höheren Grad von Kälte zu erzeugen,

Digitized by Google

wurde das Bad von Kohlensäure und Aether unter eine Luftpumpe gebracht, und die Luft nebst der gasförmigen Kohlensäure rasch entfernt. Hiedurch sank die Temperatur so tief, daſs der Dampf der Kohlensäure statt des Drucks von einer Atmosphäre nur einen Druck von $\frac{1}{24}$ Atmosphäre oder 1,2 Zoll Quecksilber ausübte, denn das Barometer der Luftpumpe konnte auf 28,2 Zoll gehalten werden, wenn das gewöhnliche Barometer auf 29,4 Zoll stand. Bei dieser niedrigen Temperatur war die mit Aether gemischte Kohlensäure nicht flüchtiger als Wasser bei 86° F. oder Alkohol bei gewöhnlichen Temperaturen.

Um eine Idee von diesen Temperaturen zu bekommen, hatte ich mir ein Alkohol-Thermometer gemacht, das von 32° F. abwärts nach Graden gleich dem Abstand zwischen 212° und 32° F. eingetheilt war. Wenn dieſs Thermometer in ein von Luft umgebenes, aber mit Papier bedecktes Bad von Kohlensäure und Aether getaucht ward, zeigte es die Temperatur — 106° F. Unter der Luftpumpe in dasselbe Bad gesteckt, sank es auf — 166° F. oder 60° tiefer als in dem nämlichen Bade in Luft oder unter dem Druck von einer Atmosphäre. Dabei war der Aether sehr flüssig und das Bad konnte eine Viertelstunde lang in gutem Zustand erhalten werden.

Während der Auspumpung beobachtete ich zu gewissen Zeitpunkten die Temperatur des Bades und den entsprechenden Druck bei einem äuſseren Barometerstande von 29,4 Zoll. Ich erhielt unter andern folgende Resultate:

Barometer der Luftpumpe.	Temperatur des Bades.
1 Zoll	— 106° F
10 -	— 112,5 -
20 -	— 121 -
22 -	— 125 -
24 -	— 131 -
26 -	— 139 -
27 -	— 146 -
28 -	— 160 -
28,2 -	— 166 -

Da indeſs das Thermometer einige Zeit gebraucht, um die Temperatur des Bades anzunehmen, und die letztere eine beständig sinkende war, der Alkohol sich auch bei niederer Temperatur beträchtlich verdickt, so sind ohne Zweifel die angegebenen Grade nicht so niedrig als sie seyn müſsten, in vielen Fällen selbst um 5 bis 6°.

Mit *trockner* Kohlensäure unter der Glocke der Luftpumpe konnte ich, wenn das äuſsere Barometer auf 30 Zoll stand, das innere auf 29 erheben.

Die Vorrichtung, durch welche dieſs Erkältungsvermögen in seiner Wirkung auf Gase mit dem Druck der Pumpen vereint ward, war in ihrem Principe sehr einfach. Eine oben offene Luftpumpenglocke war verschlossen durch eine Messingplatte, welche mittelst einer Stopfbüchse eine etwa 6 Zoll lange, leicht auf- und abzuschiebende Messingröhre luftdicht hindurchlieſs. Einer der schon in Fig. 1, Taf. III abgebildeten Condensations-Glasheber wurde an das untere Ende der verschiebbaren Röhre geschraubt, und das obere Ende der letztern durch eine aus zwei Stücken bestehende Verbindungsröhre mit der Druckpumpe verbunden. Die letztere Röhre, von Messing, war eng und 9,5 Fuſs lang; sie ging auf 6 Zoll horizontal von der Pumpe fort, stieg dann 2 Fuſs in die Höhe, ging nun 7 Fuſs wieder horizontal, und bog sich endlich herab, wo sie sogleich mit der verschiebbaren Röhre verbunden war. Hiedurch konnte die letztere, ohne Zwang für die Verbindungsstücke, gehoben und gesenkt, und somit auch die Verdichtungsröhre tiefer in das im *Vacuo* befindliche Bad getaucht oder, zur Untersuchung ihres Inhalts, nach Belieben herausgezogen werden. Die Capacität der Verbindungsröhren jenseits der letzten Druckpumpe betrug nur zwei Zoll (Kubikzoll).

Beim Experimentiren mit einem Gase wurde der Apparat fest und dicht zusammengesetzt, mit Ausnahme des Schraubenpflocks am kurzen Schenkel der Verdichtungsröhre, welcher das eigentliche Ende des Apparats war;

Digitized by Google

dieser ward etwas lose gelassen. Dann wurde mittelst der Druckpumpen ein Ueberschuſs von Gas durch den Apparat geleitet, um jede Spur von Luft auszutreiben, hierauf der Pflock festgeschraubt, das Bad in Ordnung gebracht, und das Gas der vereinten Wirkung der Kälte und des Druckes ausgesetzt.

Es giebt viele Gase, die sich unter einem Druck geringer als der einer Atmosphäre verdichten, wenn sie der Kälte des Kohlensäure-Bades in Luft (welche bisweilen bedeutend unter — 106° F. gebracht werden kann) ausgesetzt werden. Diese waren daher leicht zu verdichten, wenn man sie durch enge Verbindungsröhren in röhrenförmige Behälter sandte, die im kalten Bade standen. Waren die Behälter zuvor über der Weingeistflamme mit engen Hälsen versehen, so hatte es auch keine Schwierigkeit, diese Substanzen im verdichteten Zustande hermetisch einzuschlieſsen. Auf diese Weise wurden *Chlor*, *Cyan*, *Ammoniak*, *Schwefelwasserstoff*, *Arsenwasserstoff*, *Jodwasserstoff*, *Bromwasserstoff* und selbst *Kohlensäure* im verdichteten Zustande erhalten, auch *Euchlorine* in einer Röhre mit einer Kappe und einem Schraubenpflock. Bei Anwendung eines zuvor im Vacuo abgekühlten Bades von Kohlensäure werden sich ohne Zweifel noch andere verdichtete Gase in gleicher Weise aufbewahren lassen.

Die flüssige Kohlensäure verschaffte mir Hr. Addams durch seinen vortrefflichen Apparat in Portionen von 220 Kubikzoll. Die aus ihr dargestellte starre Kohlensäure wurde in einem Glase aufbewahrt, das im Innern dreier concentrischer, durch trockne Ueberzüge von Wollenzeug von einander getrennter Flaschen stand. Diese Vorrichtung war so wirksam, daſs ich oft einen ganzen Tag oder 12 bis 15 Stunden arbeitete und aus der einzigen Portion von 220 Kubikzoll starre Kohlensäure genug gewann für alle während dieser ganzen Zeit erforderlichen Bäder [1]).

1) Einstmals fand ich die starre Kohlensäure ungemein elektrisch, konnte

Digitized by Google

Durch den Apparat und das Verfahren, die eben beschrieben wurden, waren alle zuvor condensirten Gase leicht zu verdichten, auch einige neue Resultate zu erhalten. Wenn ein Gas liqueficirt war, konnte man den Hahn leicht verschlieſsen und dann die Verdichtungsröhre mit ihrem Inhalt vom übrigen Apparat trennen. Um indeſs zu verhüten, daſs die Flüssigkeit als Gas entweiche, war eine fernere Vorsicht nöthig, nämlich das freistehende Ende des Hahns mit einer leeren Schraubenkappe mit ledernen Zwischenlagen zu überdecken, und auch die Schraube des Hahnpflocks vollkommen luftdicht zu machen. Mit diesen Vorsichtsmaſsregeln habe ich Kohlensäure, salpetrige Säure, Fluorkieselgas, u. s. w. tagelang aufbewahrt.

Selbst bei Gasen, die durch das Kohlensäurebad in Luft verdichtet werden konnten, hatte der Luftpumpen-Apparat Vorzug in einer Hinsicht; denn wenn die Verdichtungsröhre aus dem Bade in die Luft gebracht ward, beschlug sie sogleich mit Reif, welcher das Hineinsehen verhinderte; allein im Vacuo war dieſs nicht der Fall, und man konnte den Inhalt der Röhre sehr gut mit dem Auge untersuchen.

Oelbildendes Gas. — Dieſs Gas verdichtet sich zu einer klaren, farblosen Flüssigkeit, die selbst durch das Kohlensäurebad im Vacuo nicht erstarrt, ob, weil die Temperatur nicht niedrig genug war, oder aus andern, beim Euchlorin zu erwähnenden Gründen, ist ungewiſs.

Die Spannung des Dampfs dieser Substanz bei der

es aber später nicht wieder beobachten; wahrscheinlich rührte es her von Oel, welches sich in der Kohlensäurebüchse befand. Weder die Säure, noch das auf ihr in der Luft gebildete Filament von Eis leitete, denn bei Berührung behielten sie ihren elektrischen Zustand. Da ich noch glaube, daſs ich über die Ursache der Elektricität eines ausströmenden Dampf- oder Wasserstrahls die richtige Erklärung gegeben habe (*Phil. Transact. f.* 1843, *p.* 17. — Ann. Bd. 60, S. 321), so schlieſse ich, daſs auch hier die Erregung der Elektricität durch Reibung geschah und nicht mit Verdampfung zusammenhing.

Digitized by Google

Temperatur des Kohlensäurebades in Luft (— 103° F.) war auffallend unsicher, betrug bei verschiedenen Gelegenheiten und bei verschiedenen Portionen 3,7, 8,7, 5 und 6 Atmosphären. Als Beispiel diene die folgende Tafel; sie enthält die Dampfspannung zweier zu verschiedenen Zeiten gewonnenen Proben für gewisse Grade unter 0° F.

Temperatur.	Spannung.	Spannung.
— 100° F.	4,60 Atmosph.	9,30 Atmosph.
— 90 -	5,68 -	10,26 -
— 80 -	6,92 -	11,33 -
— 70 -	8,32 -	12,52 -
— 60 -	9,88 -	13,86 -
— 50 -	11,72 -	15,36 -
— 40 -	13,94 -	17,05 -
— 30 -	16,56 -	18,98 -
— 20	19,58 -	21,23 -
— 10 -		23,89 -
0 -		27,18 -
+ 10 -		31,70 -
+ 20 -		36,80 -
+ 30 -		42,50 -

Bis jetzt habe ich diese Unregelmäſsigkeit noch nicht aufgeklärt, glaube aber, daſs im ölbildenden Gase zwei oder mehre physikalisch und vielleicht auch chemisch verschiedene Substanzen vorhanden sind, deren Verhältniſs nach der Temperatur, den Verhältnissen der Ingredienzen, u. s. w. bei der Bereitung schwankt.

Die Flüssigkeit greift das Harz der Meſsröhrenskale an, wahrscheinlich auch das Harz im Kitt der Kappe, doch langsam.

Jodwasserstoffsäure. — Diese Substanz wurde aus Jodphosphor bereitet, durch Erhitzung desselben in sehr wenig Wasser. Sie ist durch die Temperatur eines Kohlensäurebades leicht verdichtbar; umdestillirt, wurde sie rein erhalten.

Die Säure läſst sich im starren oder flüssigen oder (wie natürlich) gasigen Zustand erhalten. Starr ist sie

Digitized by Google

vollkommen klar und farblos, versehen mit Rissen oder Spalten, die denen im Eise ähnlich sind. Beim Erstarren ist ihre Temperatur nahe —60° F., und dann hat ihr Dampf noch nicht den Druck einer Atmosphäre. Bei einer etwas höheren Temperatur wird sie eine klare Flüssigkeit und dieser Punkt liegt dicht über dem, welcher einer Dampfspannung von einer Atmosphäre entspricht. Die Säure löst den Kitt der Kappe und das Harz der Meſsröhrenskale; sie scheint auch Fett zu lösen, denn sie sickerte durch den Pflock des Hahns mit merkwürdiger Leichtigkeit. Eben so wird das Messing des Apparats und das Quecksilber der Meſsröhre von ihr angegriffen. Die folgenden Angaben dürfen daher nur als Annäherungen betrachtet werden.

Bei	0° F. betrug der Druck	2,9	Atmosphären.
-	32 - - - -	3,97	-
-	60 - - - -	5,86	-

Bromwasserstoffsäure. — Diese Säure wurde bereitet, indem man zu Phosphorbromid [1]) in einem aus einer Röhre gebildeten Destillir-Apparat etwa ein Drittel seines Volums Wasser hinzusetzte, und dann erhitzte, um die gasige Säure zu destilliren. In einem sehr kalten Recipienten aufgefangen, verdichtete sie sich zu einer Flüssigkeit, welche rectificirt und dann zum Versuch angewandt wurde.

Die Bromwasserstoffsäure verdichtet sich bei —100° F. oder niedriger zu einer klaren farblosen Flüssigkeit, die bei der Temperatur des Kohlensäurebades in Luft noch nicht den Druck einer Atmosphäre ausübt. Sie macht die

1) Die Bromide des Phosphors lassen sich leicht ohne Gefahr vor Explosion darstellen. Giebt man einer Glasröhre zwei herabgehende Biegungen, bringt den Phosphor in die eine und das Brom in die andere, so kann man durch Neigen der Röhre bewirken, daſs der Bromdampf langsam zum Phosphor flieſst und sich mit ihm verbindet. Das flüssige Phosphorbromür bildet sich zuerst und geht später in starres Bromid über. Der Ueberschuſs des Broms kann durch sorgfältige Erwärmung verjagt werden.

Digitized by Google

Bewegung des Quecksilbers in der Meſsröhre bald so unregelmäſsig, daſs man keine Messung ihrer Spannkraft veranstalten kann; doch liegt diese unter der der Salzsäure. Bei und unter der Temperatur — 124° F. ist sie ein klarer, starrer, krystallinischer Körper. Sie gefriert nicht ehe sie nicht weit unter diese Temperatur erkältet ist, doch einmal gefroren durch das Kohlensäurebad im Vacuo, bleibt sie starr, bis die Temperatur auf — 124° F. gestiegen ist.

Fluorkiesel. — Ich habe gefunden, daſs diese Substanz im Gaszustand mit dem Oel und dem Metall der Pumpen, ohne Schaden für dieselben, in Berührung gebracht werden kann, und zwar hinreichend lange, um den beschriebenen Condensationsprozeſs auszuführen. Die Substanz ward unter einem Druck von etwa 9 Atmosphären bei der niedrigsten Temperatur oder bei — 160° F. flüssig; sie war dann klar, farblos und sehr dünnflüssig, wie heiſser Aether. Sie erstarrte bei keiner Temperatur, welcher ich sie auszusetzen vermochte. Ich konnte sie bis zum andern Tage in der Röhre aufbewahren. Es war etwas durchgesickert (denn sie wirkte zuletzt auf die Schmiere des Hahns), und es fand sich bei gewöhnlichen Temperaturen keine Flüssigkeit in der Röhre. Wenn aber die Bucht der Röhre durch etwas Eis bis 32° F. abgekühlt ward, erschien Flüssigkeit; ein Bad von Salz und Eis bewirkte eine noch reichlichere Condensation. Der Druck schien dann über 30 Atmosphären zu betragen, allein die Bewegung des Quecksilbers in der Meſsröhre war durch die Wirkung des Fluorkiesels gestört und ihre Angaben verdienten kein Zutrauen mehr.

Phosphorwasserstoff. — Dieſs Gas war bereitet durch Kochen von Phosphor mit einer starken und reinen Lösung von Aetzkali; es wurde mehre Tage lang im Dunklen über Wasser stehen gelassen, um jeden etwanigen Gehalt von Phosphordampf abzusetzen. Dann wurde es, abgekühlt in einer Röhre durch ein Kohlen-

Digitized by Google

säurebad, das selbst wiederum unter der Glocke der Luftpumpe abgekühlt worden, einem hohen Drucke ausgesetzt. Das Gas ging zu den Pumpen durch eine lange, in ein Gemisch von Eis und Salz bei 0° gelegte Spirale von einem dünnen Glasrohre, um das Wasser so viel wie möglich zu entfernen.

Auf diese Weise wurde der Phosphorwasserstoff liquefïcirt. Denn es erschien eine klare, farblose und sehr bewegliche (*clear, transparent, very limpid, colourless*) Flüssigkeit, welche bei keiner Temperatur zum Erstarren gebracht werden konnte, und welche, wenn der Druck entfernt ward, sogleich in Gasform überging. Indeſs war nicht das gesammte Gas zu dieser Flüssigkeit condensirbar. Durch das Pumpen stieg, bei dieser niedrigen Temperatur, der Druck auf 25 Atmosphären, und dennoch blieb, bei derselben Temperatur, unter dem Druck von 2 bis 3 Atmosphären eine Flüssigkeit zurück. Es leidet keinen Zweifel, daſs der Phosphorwasserstoff condensirt ward, aber eben so unzweifelhaft ist, daſs ein anderes, nicht so condensirbares Gas zugegen war, entweder ein anderer Phosphorwasserstoff oder reiner Wasserstoff.

Fluorbor. — Dieſs Gas wurde aus Fluſsspath, geschmolzener Borsäure und concentrirter Schwefelsäure in einem Entwicklungsrohr (*tube generator*), wie schon beschrieben worden, dargestellt, und unter dem erforderlichen Druck (*generating pressure*) in ein Verdichtungsrohr geleitet. Das gewöhnliche Kohlensäurebad verdichtete es nicht, wohl aber ein unter der Luftpumpe abgekühltes; und dann erschien das Fluorbor als eine klare, farblose, sehr bewegliche (*limpid*) Flüssigkeit, die keine Anzeigen von Erstarrung darbot, sondern bei der niedrigsten Temperatur so beweglich wie heiſser Aether war. Bei Fortnahme des Drucks oder Steigerung der Temperatur kehrte es in den Gaszustand zurück.

Folgendes sind einige Druckbestimmungen, alle, die ich mit der Flüssigkeit in meinem Besitz erhalten konnte;

Digitized by Google

denn da die Flüssigkeit leicht, und das Gas schwer ist, so verschwindet die erstere rasch bei Erzeugung des letzteren. Sie machen keine Ansprüche auf Genauigkeit, und werden bloſs zur Belehrung obenhin gegeben.

— 100° F.	4,61 Atmosph.	— 66° F.	10,00 Atmosph.
— 82 -	7,5 -	— 62 -	11,54 -
— 72 -	9,23 -		

Die vorstehenden Thatsachen der Liquefaction und Solidification von Gasen sind meines Wissens neu. Ich will nun kurz hinzufügen, welche Resultate ich in Bezug auf die Solidification, Druck u. s. w. schon früher condensirter Gase erhalten habe. Was den Druck betrifft, so kommen oft bedeutende Unregelmäſsigkeiten vor, die ich nicht immer auf ihre wahre Ursache zurückzuführen weiſs; manchmal schleicht sich etwas von dem condensirten Gase durch das Quecksilber in die Meſsröhre und vergröſsert das Volumen der eingeschlossenen Luft; und dieser Umstand variirt mit den Substanzen, wahrscheinlich weil das Glas eine Neigung hat, die Condensation der einen mehr als die der andern zu begünstigen (durch eine Art von hygrometrischer Action). Allein selbst wenn das Quecksilber auf seine frühere Stelle in der Meſsröhre zurückkehrt, giebt es Anomalien, die mir anzudeuten scheinen, daſs eine als einzeln angesehene Substanz ein Gemisch von zwei oder mehren seyn möchte. Es ist natürlich wesentlich, daſs die Meſsröhre während der ganzen Dauer der Beobachtungen auf dieselbe Temperatur gehalten werde.

Salzsäure. — Diese Substanz gefror nicht bei der niedrigsten Temperatur, die ich erlangen konnte. Flüssige Salzsäure löst Bitumen; die vom Druck befreite Lösung kocht, giebt salzsaure Dämpfe aus und hinterläſst das Bitumen in einem starren, schaumigen Zustand, wahrscheinlich etwas chemisch verändert. Die Säure erweicht

Digitized by Google

den Harzkitt der Kappe und verbindet sich mit ihm, läſst ihn aber bei Verringerung des Drucks zurück. Folgendes sind einige Drucke und Temperaturen, welche, wie ich glaube, sich nicht sehr von der Wahrheit entfernen. Die besternten Zahlen sind beobachtete.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
*— 100° F.	1,80	*— 53° F.	5,83	*— 5° F.	13,88
*— 92	2,28	— 50	6,30	* 0	15,04
— 90	2,38	*— 42	7,40	+ 10	17,74
*— 83	2,90	— 40	7,68	+ 20	21,09
— 80	3,12	*— 33	8,53	*+ 25	23,08
*— 77	3,37	— 30	9,22	+ 30	25,32
— 70	4,02	*— 22	10,66	*+ 32	26,20
*— 67	4,26	— 20	10,92	+ 40	30,67
— 60	5,08	— 10	12,82		

Das früher [1]) erhaltene Resultat war: 40 Atmosphären bei der Temperatur 50° F.

Schweflige Säure. — Flüssig, löst sie Bitumen. Bei — 105° F. erst erstarrt sie zu einem klaren, farblosen, krystallinischen Körper; wenn sie theilweis gefroren ist, sind die Krystalle gut ausgebildet. Die starre schweflige Säure ist schwerer als die flüssige, denn sie sinkt in ihr unter. Folgende Tafel giebt ihre Drucke in Atmosphären von 30 Zoll Quecksilber. Die besternten Resultate sind aus vielen Beobachtungen abgeleitet, die übrigen sind interpolirt; sie weichen bedeutend von den Bunsen'schen ab [2]), stimmen aber mit meinem ersten und einzigen Resultat.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
0° F.	0,725	40° F.	1,78	76°,8 F.	3,50
10	0,92	46,5	2,00	85	4,00
* 14	1,00	* 48	2,06	* 90	4,35
* 19	1,12	* 56	2,42	93	4,50
* 23	1,23	58	2,50	98	5,00
* 26	1,33	* 64	2,76	* 100	5,16
31,5	1,50	68	3,00	104	5,50
* 32	1,53	* 73,5	3,28	110	6,00
* 33	1,57				

1) *Philosoph. Transact.* 1823, *p.* 198.

2) *Bibl. univers.* 1839, *T. XXIII, p.* 185. (Aus d. Ann. Bd. 46, S. 97. *P.*)

Schwefelwasserstoff. — Diese Substanz gesteht bei —122° F., und ist dann eine weiſse, durchscheinende, krystallinische Substanz, die im starren Zustand nicht klar und durchsichtig bleibt wie Wasser, Kohlensäure, salpetrige Säure u. s. w., sondern eine Masse verworrener Krystalle bildet, wie Kochsalz und salpetersaures Ammoniak, wenn sie aus dem geschmolzenen Zustand erstarren. So wie sie bei Temperaturen über —122° F. schmilzt, sinken die starren Theile rasch (*freely*) in den flüssigen unter, als Beweis, daſs sie bedeutend schwerer sind. Bei dieser Temperatur ist der Druck des Dampfs geringer als eine Atmosphäre, wahrscheinlich nicht gröſser als 0,8 Atmosphäre, so daſs die Flüssigkeit, wenn man sie an freier Luft verdampfen lieſse, nicht erstarren würde, wie es die Kohlensäure thut.

Folgende Tafel giebt die Spannung ihrer Dämpfe; die besternten Zahlen sind beobachtet, die übrigen interpolirt. Die aus den Zahlen verschiedener Reihen von Versuchen entspringenden Curven sind fast identisch, weichen aber im Charakter so sehr von denen für Wasser und Kohlensäure ab, daſs ich Zweifel an denselben hege, oder daran, ob alle Portionen der erhaltenen Flüssigkeit identisch waren, ungeachtet die Krystallisation und andere Merkmale zu zeigen schienen, daſs sie rein war.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
—100° F.	1,02	—50° F.	2,35	0° F.	6,10
*— 94	1,09	*—45	2,59	+10	7,21
*— 90	1,15	*—40	2,86	+20	8,44
*— 83	1,27	—30	3,49	*+26	9,36
— 80	1,33	*—24	3,95	+30	9,94
*— 74	1,50	*—20	4,24	+40	11,84
— 70	1,59	*—16	4,60	*+48	13,70
*— 68	1,67	—10	5,11	+50	14,14
— 60	1,93	*— 2	5,90	*+52	14,60
*— 58	2,00				

Kohlensäure. — Die Verfestung der Kohlensäure durch Hrn. Thilorier ist eins der schönsten experimentellen Resultate der neueren Zeit. Er erhielt, wie bekannt,

Digitized by Google

kannt, die Substanz in Form einer weiſsen, wie feiner Schnee lockeren Masse; geschmolzen und abermals im kalten Bade erstarrt, erschien sie als ein klarer, farbloser, krystallinischer Körper, wie Eis, manchmal von solcher Klarheit, daſs das Auge zweifelte, ob Etwas in der Röhre war, wiewohl sich starre Kohlensäure darin befand. Sie schmilzt bei —70° oder —72° F., und der starre Theil ist schwerer als der flüssige, der sie umgiebt. Hienach ist die Schnelligkeit leicht begreiflich, mit welcher die flüssige Kohlensäure, beim Entweichen in die freie Luft, die nur den Druck von einer Atmosphäre ausübt, zum Theil gefriert durch das Verdunsten eines anderen Theils.

Thilorier giebt an, —100° C. oder —148° F. sey die Temperatur, bei welcher die Kohlensäure erstarre. Dieſs ist aber vielmehr die Temperatur, auf welche die starre Kohlensäure bei fernerer Verdampfung in der Luft herabsinken kann, eine Temperatur, welche zu einem Drucke gehört, der nicht nur geringer als 5,33 Atmosphären ist, sondern gar weit unter Einer Atmosphäre liegt. Diese Erkaltung auf Temperaturen unter dem Siedpunkt tritt oft ein. Ein Bad von Kohlensäure und Aether, der Luft ausgesetzt, kühlt eine Röhre, die verdichtete starre Kohlensäure enthält, so weit ab, daſs der Druck in der Röhre geringer als eine Atmosphäre ist; und doch, wenn dasselbe Bad zugedeckt wird, so daſs es den Druck von einer Atmosphäre Kohlensäuredampf über sich hat, ist die Temperatur eine solche, daſs der Dampf der starren Kohlensäure in der Röhre einen Druck von 2,5 Atmosphären hervorbringt.

Die Schätzungen des Drucks des Kohlensäuredampfs sind sehr widersprechend. So sagt Thilorier, er übe bei —4° F. einen Druck von 26 Atmosphären aus [1]), während Addams angiebt, es sey zu diesem Druck eine

1) *Ann. de chim. et de phys.* 1835, *T. LX*, *p.* 427, 432. (Ann. Bd. 36, S. 141.)

Temperatur von 30° erforderlich [1]). Addams findet bei 32° F. den Druck etwa zu $27\frac{1}{2}$ Atmosphären, während er nach Thilorier und mir bei derselben Temperatur 36 Atmosphären beträgt [2]). Brunel [3]) schätzt bei 50° den Druck auf 60 Atmosphären, während Addams ihn nur auf 34,67 setzt. Bei 86° findet Thilorier den Druck gleich 73 Atmosphären; bei 4 Grad mehr oder bei 90° setzt Brunel ihn auf 120 Atmosphären, bei 10° mehr oder bei 100° findet Addams ihn geringer als Thilorier bei 86°, nämlich nur 62,32 Atmosphären, und selbst bei 150° ist der Druck nach ihm noch nicht ganz 100 Atmosphären.

Ich bin geneigt zu glauben, daſs bei etwa 90° der Cagniard-de-la-Tour'sche Zustand für die Kohlensäure eintritt. Aus Thilorier's Angaben können wir das specifische Gewicht der Flüssigkeit und das des Dampfes über ihr für die Temperatur 86° F. ableiten, und das erstere ergiebt sich etwas mehr als das Zweifache des letzteren. Einige Grade mehr in der Temperatur würden also beide gleich machen, und Brunel's Resultat scheint anzuzeigen, daſs dieser Zustand eingetreten war, allein dann würde sich Addams Resultat nur durch die Annahme erklären lassen, daſs dabei ein Mangel an Kohlensäure stattfand. Folgendes sind die Drucke, die ich neuerlich beobachtet habe.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
*−111° F.	1,14	−60° F.	6,97	*− 4° F.	21,48
−110	1,17	*−56	7,70	0	22,84
*−107	1,36	−50	8,88	*+ 5	24,75
−100	1,85	−40	11,07	*+10	26,82
*− 95	2,28	*−34	12,50	*+15	29,09
− 90	2,77	−30	13,54	+20	30,65
*− 83	3,60	*−23	15,45	*+23	33,15
− 80	3,93	−20	16,30	+30	37,19
*− 75	4,60	*−15	17,80	*+32	38,50
− 70	5,33	−10	19,38		

1) *Report of British Association* 1838, *p.* 70.

2) *Philosoph. Transact.* 1823, *p.* 193.

3) *Royal Institution Journal T. XXI*, *p.* 132.

Digitized by Google

Die Kohlensäure ist ein merkwürdiger Körper wegen der hohen Spannung des Dampfes, den sie im starren oder eisigen Zustand ausgiebt. Es giebt keine Substanz, die ihr in dieser Hinsicht auch nur entfernt gleich kommt, und sie stellt von allem, was sonst die natürliche Ordnung der Dinge ist, das Gegentheil auf. Wenn so z. B., wie beim Wasser, Aether, Quecksilber und vielen anderen Flüssigkeiten, diejenige Temperatur, bei welcher die Kohlensäure einen Dampf von der Spannung gleich einer Atmosphäre ausgiebt, ihr Siedpunkt genannt wird, oder wenn (um ein wirkliches Sieden hervorzubringen) die Kohlensäure unter die Oberfläche von Alkohol und Aether versetzt wird, so wird man wahrnehmen, daſs sich Gefrier- und Siedpunkt umgekehrt haben, d. h. daſs der Gefrierpunkt der wärmere und der Siedpunkt der kältere von beiden ist, indem der letztere etwa 50° unter dem ersteren liegt.

Euchlorin. — Diese Substanz lieſs sich leicht aus dem Gaszustande in einen starren krystallinischen Körper verwandeln, welcher bei einer geringen Erhöhung der Temperatur zu einer orangerothen Flüssigkeit schmolz, und bei Verminderung der Temperatur wieder gefror. Das starre Euchlorin besitzt die Farbe und das allgemeine Ansehen von doppelt-chromsaurem Kali; es ist mäſsig hart, spröde und durchscheinend, und die Krystalle sind vollkommen klar. Es schmilzt bei der Temperatur —75° F., und der starre Theil ist schwerer als der flüssige.

Im starren Zustande giebt es so wenig Dampf aus, daſs wenn man in eine vier Zoll lange Röhre hinabsieht, auf deren Boden die Substanz liegt, man durch keine Färbung der Luft über ihr das Daseyn desselben gewahrt. Der Druck des Dampfs muſs also bei dieser Temperatur sehr gering seyn.

Einige Stunden hernach wünschte ich eine flüssige Portion Euchlorin in den starren Zustand zu versetzen; ich brachte sie also in ein Bad von —110° F., aber

Digitized by Google

ohne Erfolg, ich mochte sie lange darin lassen, oder sie in der Röhre erschüttern, oder die Röhre öffnen, damit der volle Luftdruck hinzutrete; als ich aber die Flüssigkeit mit einem Platindraht berührte, erstarrte sie sogleich und zeigte alle vorhin beschriebenen Eigenschaften. Es giebt viele ähnliche Fälle unter den gewöhnlicheren Substanzen, allein der eben beschriebene läſst mich Anstand nehmen zu schlieſsen, daſs alle bis jetzt noch nicht bei —166° F. erstarrten Flüssigkeiten, den starren Zustand nicht bei dieser Temperatur annehmen können.

Stickstoffoxydul. — Dasselbe wurde bei der Temperatur des Kohlensäurebades im Vacuo *starr* erhalten, als ein schöner, klarer, farbloser, krystallinischer Körper. Die hiezu erforderliche Temperatur muſs sehr nahe die niedrigste gewesen seyn, vielleicht etwa —150° F. Der Druck des vom starren Stickstoffoxydul aufsteigenden Dampſs war geringer als der einer Atmosphäre.

Hieraus war zu schlieſsen, daſs flüssiges Stickstoffoxydul nicht durch eigene Verdampfung bei Einer Atmosphäre gefrieren könne, wie es Kohlensäure thut; und dieſs bestätigte sich auch, denn als eine viel Flüssigkeit enthaltende Röhre geöffnet ward, so daſs sie bis herab zum Druck von Einer Atmosphäre verdampfen konnte, kam die Flüssigkeit in's Sieden und erkaltete sich, blieb aber flüssig. Die durch die Verdampfung erzeugte Kälte war sehr groſs; denn als der Theil der Röhre, welcher die Flüssigkeit enthielt, in ein kaltes Bad von Kohlensäure getaucht ward, wirkte dieses wie ein heiſses Bad, und versetzte sie sogleich in rasches Sieden.

Ich verwahrte diese Flüssigkeit wochenlang in einer durch Hähne und aufgekittete Kappen verschlossene Röhre, ohne daſs das Bitumen der Skale oder der Kitt der Kappen irgend einen Angriff erlitten hätten.

Hienach ist es wahrscheinlich, daſs diese Substanz in gewissen Fällen statt der Kohlensäure gebraucht werden könne, um noch weit höhere Grade von Kälte zu er-

Digitized by Google

zeugen, als es letztere vermag. Bis zu einer gewissen Temperatur herab, bis zu der ihrer Erstarrung, würde sie nicht einmal Aether erfordern, um besseren Contact zu geben, und unterhalb dieser Temperatur könnte sie leicht, mit Aether gemischt, angewandt werden. Ihr Dampf würde die Luftpumpe nicht angreifen, und ohne Zweifel würde sie im Vacuo eine Temperatur annehmen, die niedriger ist, als die irgend einer bisjetzt bekannten Substanz, vielleicht so tief unter der des Kohlensäurebades im Vacuo liegt, als diese unter der desselben Bades in Luft.

Was den Druck des Dampfes betrifft, so gab diese Substanz, wie das ölbildende Gas, zu verschiedenen Zeiten sehr unsichere Resultate, Resultate, welche sich nur durch die Annahme erklären lassen, daſs zwei verschiedene, mit einander mischbare Körper von ungleicher Dampfspannung vorhanden waren. Vier verschiedene Portionen gaben bei derselben Temperatur, nämlich bei — 106° F., die stark abweichenden Drucke 1,66, 4,4, 5,0 und 6,3 Atmosphären, und zwar, nachdem man die nach der Condensation in den Röhren zurückgebliebene elastische Atmosphäre hatte entweichen lassen, und durch eine Portion der respectiven Flüssigkeit, die sogleich verdampfte, ersetzt hatte. Die folgende Tafel enthält sichere Resultate, erhalten mit einer Portion Flüssigkeit, die bei — 106° F. einen Druck von 6 Atmosphären ausübte.

Temp.	Atmosph.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Atmosph.
—40° F.	10,20		0° F.	19,05	24,40
—35	10,95		+ 5	20,70	26,08
—30	11,80		+10	22,50	27,84
—25	12,75		+15	24,45	29,68
—20	13,80		+20	26,55	31,62
—15	14,95		+25	28,85	33,66
—10	16,20		+30		35,82
— 5	17,55		+35		38,10

Die 2te und 5te Spalte geben den Druck der Flüssigkeit bei Versetzung derselben aus niederen Tempera-

Digitized by Google

turen in höhere. Die 6te Spalte zeigt den Druck, den dieselbe Flüssigkeit am nächsten Tage gab, nachdem sie die Temperatur der Atmosphäre erreicht und einige Stunden in derselben verweilt hatte. Zwischen beiden Reihen herrscht ein Unterschied von 4 bis 5 Atmosphären, zum Beweise, daſs im ersten Falle die vorausgegangene niedere Temperatur die Lösung eines flüchtigeren Theils in dem weniger flüchtigen und flüssigen veranlaſst hatte, und daſs dieser bei der höheren Temperatur während der Nacht allmälig wieder in Dampf verwandelt worden war. Dieſs Resultat wurde mit einer und derselben Flüssigkeit mehrmals erhalten [1]).

Cyan. — Diese Flüssigkeit erstarrt, wie schon Bunsen angegeben [2]), zu einem durchscheinenden krystallinischen Körper, welcher, wenn die Temperatur auf —30° F. steigt, flüssig wird. Das Starre scheint ein beinahe gleiches specifisches Gewicht zu besitzen, als das Flüssige, ist aber doch vielleicht etwas dichter.

Die theils starre, theils flüssige Substanz liefert einen Dampf, dessen Druck wohl etwas geringer als der einer Atmosphäre ist. Damit stimmt überein, daſs wenn die Flüssigkeit der Luft ausgesetzt wird, sie nicht von selbst gefriert, wie die Kohlensäure.

Die Flüssigkeit hat eine Neigung überzudestilliren, und den Kitt der Kappe, so wie das Harz der Meſsröhre anzugreifen, doch nur schwach. Wenn Cyan in einem hermetisch verschlossenen Glasrohr aus Quecksilbercyanid bereitet wird, destillirt es zurück und verdichtet sich in dem paracyanischen Rückstand der Destillation; allein die

1) Diese Substanz ist eine von denen, die ich 1823 liquefìcirte (*Phil. Transact.*). Seit ich Obiges geschrieben, hat Hr. Natterer sie durch bloſse Anwendung von Pumpen in bedeutenden Mengen in den flüssigen Zustand versetzt (*Compt. rend.* 1844, *T. XX, p.* 1111. — Dies. Ann. Bd. 62, S. 132.). Die Nicht-Gestarrung derselben beim Aussetzen an die Luft stimmt mit meinen Resultaten vollkommen.

2) *Bibl. univ.* 1839, *T. XXIII, p.* 181. (Aus dies. Ann. Bd. 46. S. 97.)

Spannung des Dampfs bei gewöhnlichen Temperaturen ist noch eben, oder sehr nahe so groſs, wie wenn das Cyan getrennt im klaren, flüssigen Zustande befindlich wäre.

Eine gemessene Portion der Flüssigkeit lieſs man sich in Gas verwandeln. Ein Volum der Flüssigkeit bei 63° F. gab hiebei 393,9 Vol. Gas bei derselben Temperatur und bei 30,2 Zoll Barometerstand. Angenommen 100 Kubikzoll des Gases wiegen 55,5 Gran, würde 1 Kubikzoll der Flüssigkeit 218,6 Gran wiegen. Hienach ist ihr specifisches Gewicht =0,866. Als ich sie zuerst condensirte, schätzte ich es auf 0,9.

Das Cyan lieferte bei verschiedenen Gelegenheiten, obwohl es immer ganz rein zu seyn schien, sehr abweichende Dampfspannungen. In folgende Zahlen, von denen die besternten beobachtete sind, setze ich einiges Zutrauen. Der Druck der Atmosphäre ist gleich 30 Zoll Quecksilber [1]).

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
0° F.	1,25	*38°,5 F.	2,72	77° F.	5,00
8 ,5	1,5	*44 ,5	3,00	* 79	5,16
*10	1,53	*48	3,17	83	5,50
15	1,72	*50	3,28	88 ,3	6,00
*20	1,89	*52	3,36	* 93 ,5	6,50
22 ,8	2,00	54 ,3	3,50	* 95	6,64
*27	2,20	*63	4,00	98 ,4	7,00
*32	2,37	*70	4,50	*103	7,50
34 ,5	2,50	*74	4,79		

Ammoniak. — Dieser Körper läſst sich erhalten als eine *starre,* weiſse, durchscheinende krystallinische Substanz, die bei —103° F. schmilzt, bei welchem Punkt der starre Theil schwerer ist, als der flüssige. In diesem Zustande muſs die Spannung seines Dampfs sehr gering seyn.

Flüssiges Ammoniak von 60° F. lieſs man bei derselben Temperatur sich in Gas verwandeln. Ein Vol. der Flüssigkeit gab 1009,8 Vol. Gas bei 30,2 Zoll Baro-

1) Bunsen, *Ibid. p.* 185. (Aus dies. Ann. Bd. 46, S. 97.)

meterstand. Angenommen 100 Kubikzoll Ammoniakgas wiegen 18,28 Gran, so wird das Gewicht eines Kubikzolls der Flüssigkeit bei 60° gleich 184,6 Gran seyn. Hienach ist ihr specifisches Gewicht bei dieser Temperatur =0,731; bei älteren Versuchen fand ich es durch ein anderes Verfahren =0,76 bei 50° F.

Folgende Tafel giebt die Spannung des Ammoniakdampfs. Die besternten Resultate sind beobachtet.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
* 0° F.	2,48	*41° F.	5,10	*61°,3 F.	7,00
0 ,5	2,50	*44	5,36	*65 ,6	7,50
* 9 ,3	3,00	*45	5,45	*67	7,63
*18	3,50	45 ,8	5,50	69 ,4	8,00
*21	3,72	*49	5,83	73	8,50
25 ,8	4,00	*51 ,4	6,00	76 ,8	9,00
*26	4,04	*52	6,10	80	9,50
*32	4,44	*55	6,38	*83	10,00
*33	4,50	*56 ,5	6,50	85	10,30
39 ,5	5,00	*60	6,90		

Arsenwasserstoff. — Dieser von Dumas und Soubeiran liquefícirte Körper erstarrte nicht bei der niedrigsten Temperatur, welcher ich ihn aussetzen konnte, d. h. bei —166° F. In folgender Tafel der Dampfspannung sind die besternten Resultate beobachtet, die übrigen interpolirt.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
*—75° F.	0,94	—30° F.	2,84	*+10° F.	6,24
—70	1,08	*—23	3,32	*+20	7,39
*—64	1,26	—20	3,51	+30	8,66
—60	1,40	—10	4,30	*+32	8,95
*—52	1,73	*— 5	4,74	*+40	10,05
—50	1,80	* 0	5,21	*+50	11,56
—40	2,28	*+ 3	5,56	*+60	13,19
*—36	2,50				

Folgende Körper erstarren nicht bei der sehr niedrigen Temperatur des Kohlensäurebades im Vacuo, d. h. bei —166° F.: *Chlor, Aether, Alkohol, Schwefelalkohol, Kautschin, Kamphine* oder *rectificirtes Terpenthinöl.*

Digitized by Google

Alkohol, Kautschin und Kamphin verlieren an Dünnflüssigkeit und verdicken sich etwas bei —106° F., und noch mehr bei —166° F. Der Alkohol flieſst dann wie ein Oel.

Trockne, gelbe, flüssige, salpetrige Säure, abgekühlt bis 0° F., verliert den gröſsten Theil ihrer Farbe, und erstarrt dann zu einer weiſsen, spröden, krystallinischen und etwas durchscheinenden Substanz, die etwas über 0° F. schmilzt. Die grüne und wahrscheinlich wasserhaltige Säure erfordert zu ihrer Erstarrung eine viel niedrigere Temperatur und gesteht zu einem blaſsblauen Körper. Offenbar besteht er aus zwei Substanzen, der trocknen Säure, die zuerst gefriert, und dem Hydrat, welches zu seiner Erstarrung wenigstens —30° F. erfordert.

Folgende Gase zeigen bei Erkaltung durch das Kohlensäurebad im Vacuo, selbst unter den angegebenen Drukken, keine Merkmale von Erstarrung:

Wasserstoff	bei	27	Atm.
Sauerstoff	-	27	
Stickstoff	-	50	
Stickstoffoxyd	-	50	
Kohlenoxyd	-	40	
Steinkohlengas (Coalgas)	-	32	

Die Verschiedenheit in der Leichtigkeit des Durchsickerns war ein Grund der Verschiedenheit des angewandten Drucks. Ich ſand es deshalb unmöglich, beim Wasserstoff den Druck über 27 Atmosphären zu steigern, obwohl derselbe Apparat dicht genug war, Stickstoff bis zum doppelten dieses Druckes einzuschlieſsen.

Hr. Cagniard de la Tour hat gezeigt, daſs eine Flüssigkeit bei gewisser Temperatur und gewissem Druck ein klarer Dampf oder ein klares Gas wird von gleichem Volum mit der Flüssigkeit. Bei dieser oder einer etwas höheren Temperatur wird wahrscheinlich kein Anwuchs von Druck, vielleicht mit Ausnahme eines ungemein groſsen, das Gas in eine Flüssigkeit verwandeln. Nun liegt

Digitized by Google

die Temperatur — 166° F., so niedrig sie auch ist, wahrscheinlich für Wasserstoff, vielleicht auch für Sauerstoff und Stickstoff, *über* diesem Punkt, und dann ist von keinem Druck, ohne Mithülfe eines weit höheren Grades von Kälte, als wir bisher anwandten, zu erwarten, daſs er sie des gasigen Zustandes beraube. Da ferner der Aether diesen Zustand annimmt, ehe der Dampf einen Druck von 38 Atmosphären erlangt hat, so ist es mehr als wahrscheinlich, daſs Gase, welche bei — 166° F. einem Druck von 27 bis 50 Atmosphären widerstehen, niemals bei gewöhnlichen Temperaturen in den flüssigen Zustand versetzt werden können. Sie werden wahrscheinlich in den Zustand eines sehr verdichteten Gases übergeführt, aber nicht flüssig.

Einige sehr interessante Versuche über die Zusammendrückung der Gase, bei welchen Sauerstoff, ölbildendes Gas, Stickstoffoxyd, Kohlenoxyd, Fluorkiesel, Wasserstoff und Stickstoff unter Drucke versetzt wurden, die bei den beiden letzten bis auf 220 Atmosphären stiegen, sind von Hrn. G. Aimé angestellt worden [1]); es geschah dieses aber in Meerestiefen, wo das Resultat des Drucks nicht untersucht werden konnte. Mehre der Gase wurden in stärkerem Verhältniſs als das der auf ihn lastenden Drucke zusammengedrückt; allein sowohl Cagniard de la Tour als Thilorier hat gezeigt, daſs dieſs oft mit Beibehaltung des Gaszustandes der Fall ist. Es ist möglich, daſs ölbildendes Gas und Fluorkiesel in der Tiefe liqueficirt wurden, allein erst bei meinen Versuchen sind sie im flüssigen Zustande gesehen worden, und zwar nicht bei Temperaturen über 40° F. Die Resultate mit Sauerstoff sind so unstät und widersprechend, daſs dadurch die bei anderen Gasen durch dasselbe Verfahren erhaltenen zweifelhaft werden.

Obwohl ich Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff

1) *Ann. de chim. et de phys.* 1843, *T. VIII, p.* 275. (Siehe den folgenden Aufsatz.)

Digitized by Google

bis jetzt nicht zu liqueficiren vermochte, wie ich es mir anfangs vorgesetzt hatte, so habe ich doch die Liste der liquefıcirbaren Substanzen um sechs für gewöhnlich gasförmige vermehrt, und sieben derselben, mit Einschluſs des Ammoniaks, Stickstoffoxyduls und Schwefelwasserstoffs, in den starren Zustand versetzt. Die für die Dampfspannung gegebenen Zahlen können (wegen Schwierigkeit des Gebrauchs der Thermometer und des Apparats überhaupt) nicht als genau betrachtet werden; allein ich hoffe, sie werden beitragen, ein allgemeines Gesetz über die Verdampfung aller Körper aufzustellen und den physischen Zustand der gasigen Körper, wie sie sich uns unter gewöhnlichen Umständen des Drucks und der Temperatur darbieten, näher kennen zu lernen.

Royal Institution 1844, Nov. 15.

II. *Zusätzliche Bemerkungen über die Condensation der Gase; von M. Faraday.*

(Ein Nachtrag zu der vorhergehenden Abhandlung.)

Stickstoffoxydul. — Da ich bei den früheren Versuchen die Gegenwart von Stickstoff im Stickstoffoxydul, und besonders die von salzsaurem Ammoniak in dem salpetersauren argwöhnte, so bereitete ich das letztere Salz im Zustande der Reinheit aus Salpetersäure und kohlensaurem Ammoniak, das zuvor durch salpetersaures Silberoxyd als frei von Salzsäure befunden worden. Nachdem das aus diesem Salz bereitete Stickstoffoxydul einige Tage lang in wohlverschlossenen Flaschen mit ein wenig Wasser in Berührung gestanden, condensirte ich es in der schon beschriebenen Weise, und lieſs hierauf die Hälfte der condensirten Flüssigkeit wieder als Gas entweichen, damit möglichst viel von der weniger condensirbaren Por-

tion davongehen möchte. Auf diese Weise lieſs ich 20 bis 30 Mal so viel Gas, als die Gefäſse füllen würde, entweichen. Alsdann wurde die folgende Reihe von Drucken erhalten.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
—125° F.	1,00	—70° F.	4,11	—15° F.	14,69
—120	1,10	—65	4,70	—10	16,15
—115	1,22	—60	5,36	— 5	17,70
—110	1,37	—55	6,09	0	19,34
—105	1,55	—50	6,89	+ 5	21,07
—100	1,77	—45	7,76	+10	22,89
— 95	2,03	—40	8,71	+15	24,80
— 90	2,34	—35	9,74	+20	26,80
— 85	2,70	—30	10,85	+25	28,90
— 80	3,11	—25	12,04	+30	31,10
— 75	3,58	—20	13,32	+35	33,40

Diese Zahlen können sämmtlich als Resultate der Versuche betrachtet werden. Wo die Temperaturen nicht die wirklich beobachteten waren, lagen sie doch meistens innerhalb eines Grades neben ihnen, und waren proportional den wirklich beobachteten Effecten. Die Abweichung der wirklichen Beobachtungen von den gegebenen Zahlen ist sehr klein. Ich halte diese Tafel für zuverlässiger als die frühere, und doch ist augenfällig, daſs die Curve nicht einer reinen, einzigen Substanz entspricht, denn die Drucke bei den niedrigeren Temperaturen (*lowest temperature*) sind zu hoch. Ich glaube, daſs zwei Substanzen vorhanden waren, und daſs die flüchtigere, wie zuvorgesagt, condensirbar ist in der Flüssigkeit der weniger flüchtigen; doch glaube ich auch, daſs bei diesen Versuchen ein weit geringerer Antheil der flüchtigeren (Stickstoff oder was es sonst sey) zugegen war, als bei den früheren.

Oelbildendes Gas. — Das bei dem früheren Versuch verdichtete ölbildende Gas war auf gewöhnliche Weise mittelst vortrefflichen Alkohols und Schwefelsäure dargestellt, dann gewaschen durch Schütteln mit seinem halben Volum an Wasser, und endlich drei Tage über

Digitized by Google

einem dicken Gemische von Kalk und Wasser unter bisweiligem Umschütteln stehen gelassen. Auf diese Weise wurde alle schweflige und Kohlensäure entfernt, auch, wie ich glaube, aller Aether bis auf so kleine Antheile, daſs sie meine Versuche nicht beeinträchtigen konnten. In Bezug auf den Aether habe ich seitdem gefunden, daſs der Proceſs genügend ist; denn wenn ich absichtlich so viel Aetherdampf zu Luft setzte, daſs diese ihr Volum um ein Drittel vergröſserte, wurde er durch eine ähnliche Behandlung so entfernt, daſs das ursprüngliche Volum der Luft zurückblieb. Die Luft hatte noch einen geringen Geruch nach Aether, aber keinen so starken als durch Zusatz von 1 Vol. Aetherdampf zu 1200 bis 1500 Vol. Luft erzeugt ward. Ich finde, daſs wenn die Luft durch Zusatz von Aetherdampf um $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ ihres Volums ausgedehnt ist, dann erstlich mit etwa $\frac{1}{10}$ ihres Volums an Wasser, darauf mit derselben Menge und zuletzt mit einem dem seinigen gleichem Volum Wasser gewaschen wird, der Aether in dem Maaſse entfernt ist, daſs die Luft, wiewohl sie noch ein wenig riecht, doch ihr ursprüngliches Volum einnimmt.

Wie schon erwähnt schienen die erhaltenen Spannungen das Daseyn anderer und flüchtigerer Kohlenwasserstoffe als das ölbildende Gas sowohl in diesem Gase als in der daraus durch Condensation entstehenden Flüssigkeit anzuzeigen. Bei fernerem Suchen nach diesen entdeckte ich eine Eigenschaft des ölbildenden Gases, die meines Wissens neu ist (da ich sie nicht in Lehrbüchern angegeben finde), nämlich die Leichtlöslichkeit desselben in starkem Alkohol, in Aether, Terpenthinöl und ähnlichen Flüssigkeiten [1]). Bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Druck nimmt der Alkohol,

1) Wasser löst, wie Berzelius und Andere angeben, etwa ein Achtel seines Volums an ölbildendem Gas; allein ich finde, daſs es einen unlöslichen Rückstand hinterläſst, der wie leichter Kohlenwasserstoff brennt.

Digitized by Google

durch Schütteln, zwei Volume dieses Gases auf, der Aether eben so viel, das Terpenthinöl drittehalb Volume, und das Olivenöl ein Volum. Wenn man folglich ein Gefäſs voll ölbildendem Gas mit einer dieser Flüssigkeiten absperrt und schüttelt, findet eine rasche Absorption statt.

Auf diese Weise untersucht, habe ich kein ölbildendes Gas gefunden, welches vollständig absorbirt worden wäre; es blieb immer ein Rückstand, welcher mir, obwohl ich noch nicht Zeit hatte ihn genau zu untersuchen, leichter Kohlenwasserstoff zu seyn schien; und ohne Zweifel war es hauptsächlich diese Substanz, welche meine früheren Resultate beeinträchtigte. Diese Substanz scheint in jeder Stufe der Bereitung des ölbildenden Gases erzeugt zu werden. Als ich bei einem Darstellungsproceſs in gleichen Zeitabständen sechs verschiedene Gasportionen auffing, sie auf beschriebene Weise von schwefliger Säure, Kohlensäure und Aether befreite, und nun mit Terpenthinöl schüttelte, hinterlieſsen sie 10,5; 10; 10,1; 13,1; 28,3 und 61,8 Procent an unlöslichem Gas. Ob in einem dieser Rückstände Kohlenoxydgas zugegen war, kann ich für jetzt nicht sagen.

Was den gelösten Theil betrifft, so wünsche ich mich gegen die Annahme zu verwahren, als sey derselbe eine einzige Substanz, vielmehr läſst das Gegentheil wenig Zweifel zu. Denn während ein Volum Terpenthinöl von 20 Vol. eines von Aether und den Säuren befreiten ölbildenden Gases 2,5 Vol. absorbirt, löst dasselbe Vol. frischen Terpenthinöls von dem Gase, welches zurückbleibt, wenn die Hälfte durch Lösung entfernt worden ist, nur 1,54 Vol., und doch war ein groſser Ueberschuſs an Gas vorhanden, der sich in frischem Terpenthinöl in diesem letzteren Verhältniſs löste. Ein Volum Kamphin löst also zuerst 2,50, allein wenn die reichere lösliche (*richer*) Portion des Gases entfernt worden, nur 1,54, und, wenn noch mehr Gas durch Lösung fortgenommen, sogar nur 1 Volum. Dieſs läſst sich nur durch das Da-

Digitized by Google

seyn verschiedener Verbindungen in dem löslichen Theil des Gases erklären.

Eine Portion guten ölbildenden Gases, welche in verschlossenen Gefäſsen mit einem gleichen Volum Wasser geschüttelt worden und dann drei Tage über Kalk und Wasser gestanden hatte, wurde wie zuvor verdichtet. Als sich viel Flüssigkeit verdichtet hatte, lieſs ich eine bedeutende Portion entweichen, um die unverdichtete Atmosphäre und die verdichtbareren Dämpfe auszutreiben, und dann wurden die folgenden Drucke beobachtet.

Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.	Temp.	Atmosph.
—105° F.	4,60	—65° F.	8,30	—30° F.	16,22
—100	4,82	—60	9,14	—25	17,75
— 95	5,10	—55	10,07	—20	19,38
— 90	5,44	—50	11,10	—15	21,11
— 85	5,84	—45	12,23	—10	22,94
— 80	6,32	—40	13,46	— 5	24,87
— 75	6,89	—35	14,79	0	26,90
— 70	7,55				

Bei Untersuchung der durch diese Drucke gelieferten Curve ist sehr sichtlich, daſs, wie bei den früheren Versuchen, die Drucke bei den niedrigen Temperaturen zu groſs sind, um die verdichtete Flüssigkeit als einen einzigen Körper betrachten zu können; und die Form der Curve bei den höheren Drucken zeigt zur Genüge, daſs sowohl in dieser Flüssigkeit als in der früheren kein Aether vorhanden war. Als man die Flüssigkeit in der Röhre sich in Gas verwandeln lieſs, und 100 Theile dieses Gases mit Terpenthinöl behandelte, wurden 89 Theile gelöst und 11 blieben zurück. Ohne Zweifel war die Gegenwart dieser letzteren Substanz, die unter Druck löslich ist in den verdichtbareren Portionen, die Ursache der Unregelmäſsigkeit der Curve und des zu hohen Drucks bei den niedrigen Temperaturen.

Als die ätherische Lösung des ölbildenden Gases mit dem 8- oder 9fachen Vol. Wasser gemischt wurde, löste sie sich, und es erschienen allmälig kleine Gasblasen, de-

Digitized by Google

ren Aussonderung durch schwache Erwärmung beschleunigt wurde. Auf diese Weise wurde die Hälfte des gelösten Gases wieder erhalten; es brannte wie sehr reiches ölbildendes Gas. Ein Volum der alkoholischen Lösung, mit 2 Volumen Wasser gemischt, lieſs wenig von ausgesondertem Gase erblicken. Selbst Erwärmung bewirkte zuerst keine Aussonderung, aber allmälig wurde die Hälfte des gelösten ölbildenden Gases in Freiheit gesetzt.

Die Aussonderung des ölbildenden Gases aus seinen Lösungen durch Wasser, Wärme oder Aenderung des Drucks liefert offenbar ein Mittel dasselbe in gröſserer Reinheit zu erhalten, als bisher. Die Fähigkeit zur Bildung solcher Lösungen wird auch für die richtige Analyse von Kohlenwasserstoffen eine groſse Stütze seyn. Ich finde den leichten Kohlenwasserstoff kaum merkbar löslich in Alkohol und Aether; und der in Terpenthinöl lösliche Theil beträgt wahrscheinlich nicht $\frac{1}{15}$ des Volums vom Lösemittel. Die weitere Verfolgung dieses Punkts muſs ich für jetzt unterlassen.

Kohlensäure. — Die Flüssigkeit kann, wie beschrieben, in Glasröhren, die mit aufgekitteten Kappen versehen und durch Stöpsel oder Hähne verschlossen sind, aufbewahrt werden; allein es ist wichtig zu bemerken, daſs sie bei fortgesetzter Einwirkung auf den Kitt, diesen zuletzt so erweicht, daſs er seine Haltbarkeit verliert. Eine solchergestalt am 10. Januar vorgerichtete Röhre platzte am 15. Februar, nicht durch einen Riſs des Glases, denn dieses blieb unverletzt, sondern bloſs dadurch, daſs die Kappe durch Nachgeben des Kittes absprang. Der Kitt darf also nicht zu langen Versuchen angewandt werden, sondern nur zu solchen, die einige Tage dauern.

Sauerstoff. — Gepülvertes Manganhyperoxyd, das eine halbe Stunde lang der Rothgluth ausgesetzt worden, wurde noch heiſs mit geschmolzenem und gepülvertem chlorsauren Kali gemengt, das Gemenge in eine lange

star-

Digitized by Google

starke Entwicklungsröhre mit Kappe gebracht, und an diese eine andere mit einem Druckmesser angesetzt. Durch vorsichtige Erwärmung mit einer Weingeistlampe ward Sauerstoff ohne Anzeige von Wasser entwickelt und die Röhren ertrugen, heiſs und kalt, den erzeugten Druck. Auf diese Weise wurde der Druck des Sauerstoffs in dem Apparat bis zu 58,5 Atmosphären gesteigert, und zugleich die Temperatur an dem Verdichtungsort auf — 140° F. erniedrigt; allein es trat keine Liquefaction ein. Etwas oberhalb dieses Drucks begann der Kitt undicht zu werden, und ich konnte die Beobachtung mit diesem Apparat nicht weiter fortsetzen.

Aus den früheren spärlichen und unvollkommenen Angaben über die Elasticität des Dampfes condensirter Gase ist Dove zu der Vermuthung veranlaſst worden [1]), ob es nicht zuletzt scheinen möchte, daſs bei allen Gasen und Dämpfen, die mit ihrer Flüssigkeit in Berührung stehen, ein gleicher Wärmezusatz (ausgedrückt in Thermometergraden) einen gleichen Anwuchs in ihrer Elasticität hervorbringe, sobald die Beobachtung bei allen mit demselben Drucke beginne. Um den Druckunterschied von 44 und 50 Atmosphären zu erhalten, würden, sowohl beim Wasserdampf als beim Stickstoffoxydul, nahe dieselbe Zahl von Wärmegraden erforderlich seyn; ebenso wäre beim Wasserdampf und Chlorwasserstoff dieselbe Anzahl zu einem Druckunterschied von 20 und 25 Atmosphären erforderlich. Ein solches Gesetz würde natürlich das Verhältniſs des Anwuchses der Spannkraft für alle Körper gleichmachen und die Curve für den Wasserdampf wäre auf jeden anderen Dampf anwendbar.

Dieſs scheint jedoch nicht der Fall zu seyn. Daſs die Dampfkraft, für gleiche Wärmeanwüchse in einem geometrischen Verhältnisse zunimmt, ist richtig für alle

1) Poggendorff's Annal. Bd. 23, S. 290, oder Thomson *on Heat and Electricity*, *p.* 9.

Digitized by Google

Körper; aber das Verhältniſs ist nicht dasselbe für alle. So weit Beobachtungen an Wasser, schwefliger Säure, Cyan, Ammoniak, Arsenwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Salzsäure, Kohlensäure, ölbildendem Gase u. s. w. meinen Schluſs hinsichtlich eines allgemeinen Gesetzes rechtfertigen, scheint es, daſs, je flüchtiger ein Körper ist, desto rascher die Spannkraft seines Dampfs durch einen fernern Wärmezusatz wächst, wenn für alle bei einem gegebenen Druck angefangen wird. So ist zu einem Druckanwuchs von 2 zu 6 Atmosphären folgender Wärmezusatz erforderlich, für Wasser 69° F., schweflige Säure 63°, Cyan 64°,5, Ammoniak 60°, Arsenwasserstoff 54°, Schwefelwasserstoff 56°,5, Salzsäure 43°, Kohlensäure 32°,5, Stickstoffoxydul 30°.

Einige dieser Zahlen sind zwar nicht in genauer Ordnung, und in andern Fällen, wie beim ölbildenden Gase und dem Stickstoffoxydul, kreuzen sich die Curven bisweilen, allein diese Umstände erklären sich leicht durch die bereits angegebenen Thatsachen der unregelmäſsigen Zusammensetzung und durch die unvermeidlichen Fehler der ersten Resultate. Es scheint aller Grund zu der Erwartung vorhanden zu seyn, daſs die Zunahme der Elasticität sich direct verhalte wie die Flüchtigkeit der Substanz, und daſs durch fernere genaue Beobachtungen der Kraft ein Gesetz gefunden werde, durch welches und nur eine einzige Beobachtung der Spannkraft für jeden mit seiner Flüssigkeit in Berührung stehenden Dampf die Elasticität desselben bei irgend einer anderen Temperatur erhalten werden kann.

Ob dasselbe Gesetz noch gültig sey, wenn die Körper sich dem Cagniard-de-la-Tour'schen Zustande nähern, ist zweifelhaft. Dieser Zustand stellt sich, in Bezug auf den erforderlichen Druck, desto eher ein, je leichter und ausdehnbarer durch die Wärme die Flüssigkeit und desto schwerer ihr Dampf ist. Allein wiewohl beim Vergleiche von Aether, Alkohol und Wasser, die

Digitized by Google

flüchtigste Substanz diesen Zustand beim niedrigsten Druck annimmt, so folgt doch nicht, daſs dieſs immer der Fall seyn werde. Und in der That wissen wir, daſs der Aether diesen Zustand bei einem Drucke zwischen 37 und 38 Atmosphären annimmt, wogegen Salzsäure, Stickstoffoxydul, Kohlensäure und ölbildendes Gas, welche weit flüchtiger sind, einen höheren Druck ertragen, ohne in diesen eigenthümlichen Zustand zu gerathen, vielmehr noch eine bedeutende Verschiedenheit zwischen ihren Dämpfen und Flüssigkeiten darbieten. Ob nun die Curve, welche die Spannkraft des Dampfes einer gegebenen Flüssigkeit für steigende Temperaturen ausdrückt, noch fortfährt sie ungestört auszudrücken, nachdem die Flüssigkeit den Cagniard-de-la-Tour'schen Punkt erreicht hat, ist nicht bekannt, und deshalb kann nicht wohl vorausgesehen werden, ob das schnellere oder spätere Eintreten dieses Zustandes bei den Körpern Einfluſs auf sie habe in Bezug auf das oben erwähnte allgemeine Gesetz.

Das schon erwähnte Gesetz ermuthigt sehr, die Bemühungen zur Condensation des Sauerstoffs, Wasserstoffs und Stickstoffs unter Anwendung niedrigerer Temperatur, als bisher benutzt worden sind, fortzusetzen. Wenn wir, um Kohlensäure aus dem Druck von zwei Atmosphären unter den von einer zu versetzen, derselben nur etwa halb so viel Wärmegrade zu nehmen brauchen, als bei der schwefligen Säure zu gleichem Effecte nöthig sind, so läſst sich erwarten, daſs beim Stickstoff und Wasserstoff eine weit geringere Wärmeentziehung zu derselben Wirkung hinreichen werde, und wir dürfen also wohl hoffen, daſs uns eine ferne Temperaturverringerung und ein verbesserter Druckapparat diese Körper im flüssigen und starren Zustand kennen lernen werden.

Royal Institution 1845, Febr. 19.

III. *Ueber die Zusammendrückung der Flüssigkeiten; von Hrn. G. Aimé.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. VIII, p.* 257. — Die Figuren zu dieser Abhandlung, deren Aufnahme schon früher beabsichtigt wurde, finden sich im Band 61 auf Taf. III.)

Die ersten genauen Versuche über die Compression der Flüssigkeiten wurden i. J. 1761 von John Canton gemacht; indem er Luft, in welche ein offnes, mit Wasser gefülltes Thermometer gestellt war, bis auf zwei oder drei Atmosphären zusammendrückte, erkannte und maſs er die Compression der in seinem Apparat enthaltenen Flüssigkeit. Später beschäftigten sich Perkins und Oersted mit demselben Gegenstand. Der erste operirte mit einigen hunderten Atmosphären, allein seine Resultate waren mit mehren Fehlern behaftet, besonders mit der Schwierigkeit, die seine Methode darbot, den Druck zu bestimmen. Oersted folgte dem von Canton angegebenen Weg und die von ihm gelieferten Zahlen sind ziemlich genau, umfassen aber nur eine sehr kleine Skale; überdieſs operirte er nur mit Wasser, ohne die Veränderungen zu untersuchen, welche Temperaturänderungen in der Zusammendrückbarkeit hervorbringen. Um diese Lücken auszufüllen, hielt es die Academie der Wissenschaften (zu Paris) für zweckmäſsig, die Compression der Flüssigkeiten, unter Berücksichtigung der Gefäſse, zum Gegenstande einer Preisfrage zu machen, und den HH. Colladon und Sturm wurde der Preis zuerkannt. Die von diesen Gelehrten befolgte Methode ist nahezu die von Canton angegebene und von Oersted vervollkommte. Um die Zusammendrückung des Glases, in welches sie die Flüssigkeiten einzuschlieſsen genöthigt waren, zu bestimmen, maſsen sie mit vieler Sorgfalt die Verlängerung

einer Glasstange, die an einem Ende eingezwängt und am anderen mit bestimmten Gewichten belastet war. Sie fanden dadurch, daſs die lineare Verlängerung des Glases für einen Zug, der dem Druck einer Atmosphäre entspricht, 11 Zehnmilliontel beträgt. Und da die Volumsverringerung eines allseitig zusammengedrückten Körpers das Dreifache des linearen Zusammenzuges ist, so nahmen sie 33 Zehnmilliontel als Volumsverringerung des Glases für jeden Atmosphärendruck an[1]). Hr. Poisson hat diese Zahl als zu stark verworfen, und meint, daſs bei der Verlängerung eines Glasstabes ein Dünnerwerden stattfinde, welches man in Rechnung ziehen müsse[2]). Nach seinen Rechnungen muſs die Zahl 33 durch ihre Hälfte, nämlich 16, ersetzt werden, und diese ist es, welche wir gebraucht haben.

Da die Versuche der HH. Colladon und Sturm bei schwachen, insgemein unter 30 Atmosphären bleibenden Drucken angestellt wurden, so war es wichtig zu wissen, ob die Resultate, welche sie erhalten haben, noch bestehen würden, wenn man ihre Druck- und Temperaturgränzen überschritt. Dieſs war besonders der Zweck der Unternehmung dieser Arbeit.

Verfahren.

Da das Mariotte'sche Gesetz bisher nur bis zu einem Druck von 25 Atmosphären bestätigt worden, so war es nicht zweckmäſsig zur Messung von Drucken, die weit über diese Gränze hinausgehen sollten, ein gewöhnliches Manometer anzuwenden. Zur Vermeidung dieser Schwierigkeit und auch der Gefahren, die stets mit stark im Innern comprimirten Apparaten verbunden sind, suchte ich das Meer als natürliche Compressionsmaschine zu benutzen, da es den Druck, welchen darin untergetauchte Körper erleiden, mit Genauigkeit zu bestimmen erlaubt,

1) Diese Ann. Bd. 12, S. 39.

2) Diese Ann. Bd. 12, S. 516.

Digitized by Google

und ein Mittel giebt, diesen Druck bis zu einer sehr fernliegenden Gränze auszudehnen. Diese Methode ist, wie ersichtlich, derjenigen ähnlich, deren sich Arago und Dulong beim Studium des Compressionsgesetzes der Gase bedienten, nur, daſs diese Physiker statt der Wassersäule, die eine zu groſse Länge gehabt haben würde, eine Quecksilbersäule anwandten.

Die zur Untersuchung genommenen Flüssigkeiten wurden in Ausfluſs Apparate eingeschlossen. Eins derselben besteht aus einem Thermometer, dessen Stiel in der Mitte so gebogen ist, daſs beide Schenkel parallel sind (Taf. III, Bd. 61, Fig. 10). Der eine dieser Schenkel ist offen, und der andere, in einem Haarröhrchen endigend, ragt in eine Erweiterung hinein, die selbst wieder zu einer Spitze ausgezogen ist.

Um das Instrument zu füllen, taucht man diese Spitze in die zu untersuchende Flüssigkeit und bringt sie zum Sieden, um alle an der Innenwand haftende Luft zu vertreiben. Hierauf gieſst man Quecksilber in den offenen Schenkel der Röhre und schlieſst mittelst der Löthrohrflamme die Spitze der Erweiterung zu. Bisweilen bleibt ein Luftbläschen zurück, welches nach einigen Stunden verschwindet; wenn es nicht fortgeht, muſs der Apparat verworfen werden. Um ihn zu graduiren, nimmt man die Temperatur, bei welcher die Quecksilbersäule am Ende der in der Erweiterung befindlichen Spitze anlangt; man erhitzt hierauf und die Quecksilbersäule wird zurückgeschoben. Man macht auf der Röhre einen Feilstrich und bemerkt genau die Temperatur, wann das Niveau der Säule ihm correspondirt. Angenommen nun, das Ausdehnungsgesetz der zu comprimirenden Flüssigkeit sey genau bekannt, so wird auch das Verhältniſs zwischen den Volumen der Erweiterung und des zwischen dem Feilstrich und der Spitze begriffenen Röhrenstücks bekannt seyn.

Angenommen ferner zur gröſseren Bestimmtheit, die

Digitized by Google

Quecksilbersäule erreiche das Ende der Spitze bei 15° C. und den Feilstrich bei 30°. Läſst man den Apparat in das Meer hinab, so ergieſst sich die Säule in die Erweiterung, so daſs, nach Herausziehung desselben, die dem Striche entsprechende Temperatur unter 30° liegt, z. B. gleich 22° ist. Um die Compression der Flüssigkeit zu kennen, braucht man nur zu wissen, welcher Temperatur das Instrument in der Tiefe des Meeres ausgesetzt war. Bei allen hier folgenden Versuchen war diese nun immer 12°,6 C.

Vernachlässigen wir für einen Augenblick die Quecksilbermenge, welche in die Erweiterung getreten ist. Versenken wir das Instrument abermals bis zur selben Temperatur in das Meer, so wird es sich nicht mehr ergieſsen. Es wird dann die Zusammendrückung vorgestellt seyn durch die Säule, welche mittelst der Temperaturen 15 und 30 geschätzt ist, und deren Volum man, nach dem zuvor Gesagten, eben sowohl kennt als das der Erweiterung. Nun entspringt die beobachtete Zusammendrükkung aus zwei Ursachen her, zunächst aus dem Druck und dann aus der beobachteten Temperaturerniedrigung von 22° bis 12°,6.

Der allein vom Druck hervorgebrachte Effect wird also vorgestellt durch die Volume entsprechend den Temperaturen

$$(30° - 15°) - (22° - 12°,6),$$

wobei das Volum, welches die Flüssigkeit bei 12°,6 C. einnimmt, zur Einheit angenommen ist.

Wäre das in die Erweiterung tretende Quecksilber incompressibel, so würde zu der dem Versuch unterworfenen Flüssigkeit nur eine ihrer Compression entsprechende Gröſse eintreten, allein dem ist nicht so. Das Quecksilber ist wirklich, wenngleich sehr wenig, comprimirbar, und dieses macht, daſs in die Erweiterung eine gröſsere Menge tritt, als die, welche nach dem Herausziehen des Apparats die Zusammendrückung der Flüssigkeit darstellen sollte.

Digitized by Google

Es giebt noch eine Fehlerquelle, die angegeben werden muſs. Nachdem die Flüssigkeit comprimirt worden, erwärmt man sie, um abermals die Temperatur zu bestimmen, bei welcher das Niveau des Quecksilbers an den Feilstrich tritt. Um eine genaue Bestimmung zu machen, müſste man die Ausdehnung des Quecksilbers verhüten können. Das ist aber nicht möglich; man erhält also eine zu groſse Ausdehnung und mithin eine zu schwache Temperatur.

Wir sagten, daſs wir den Effect vernachlässigten, den das in die Erweiterung getretene Quecksilber hervorbringt. Dieſs ist erlaubt, denn der dadurch entstehende Fehler hat nur auf die Zehnmilliontel Einfluſs, wenn man die mittlere Compression für eine Atmosphäre bestimmt. Wollte man ihn aber in Rechnung ziehen, so könnte es folgendermaſsen geschehen.

Die totale Compression, welche wir durch den Temperaturunterschied (30 — 15) vorstellten, rührt her von der Compression des Quecksilbers und der der Flüssigkeit. Allein das Quecksilber ändert sein Volum durch den Druck äuſserst wenig, dagegen beträchtlich mit der Temperatur. Man kann also die Wirkung des Drucks vernachlässigen und braucht bloſs die der Temperatur-Aenderung zu berücksichtigen.

Das Volum des in die Erweiterung getretenen Quecksilbers kann vorgestellt werden durch den Unterschied der Volume der Flüssigkeit bei den Temperaturen 30° und 22°, und die Volumsveränderung, welche es erleidet, ist durch den Temperaturunterschied (22° — 12°,6) bedingt. Diese Veränderung ist begriffen in den durch die Zahlen (30°—15°) — (22°—12°,6) ausgedrückten Total-Effect, und muſs davon abgezogen werden.

Digitized by Google

Zusammendrückung der Flüssigkeiten.

Süſses Wasser.

Druck: 124 Atmosphären; (42°,5—25°) — (18°,5—12°,6).

Um die Zusammendrückung zu berechnen, leerte man ein wohlgraduirtes Thermometer, füllte es mit Wasser und brachte es folgends in die Temperaturen 42°,5, 25°, 18°,5 und 12°,6. Man merkte sich genau die Theilstriche, welche dem Scheitel der Quecksilbersäule für diese Temperaturen entsprechen, und fand sie: 81°, 39°,2, 31°,1 und 26°,1. Die diesen Temperaturunterschieden entsprechenden Volume der Flüssigkeit werden also vorgestellt durch:

$$\left(\frac{81}{6480}-\frac{39{,}2}{6480}\right)-\left(\frac{31{,}1}{6480}-\frac{26{,}1}{6480}\right)=\frac{36{,}8}{6480}.$$

Das zur Einheit angenommene Volum der Wassermasse ist

$$1+\frac{26{,}1}{5550}=\frac{5576{,}1}{5550},$$

woraus folgt:

$$\frac{5576{,}1}{5550}:\frac{36{,}8}{6480}::1:x=0{,}05652.$$

Dividirend durch 124, findet man für den Coëfficienten der Zusammendrückung durch eine Atmosphäre 0,0000455, und fügt man 1,6 Milliontel für die Zusammenziehung des Glases hinzu, so erhält man 0,0000471 für die Zusammenziehung des Wassers [1]).

1) Wir wollen hier suchen, wie groſs der Fehler sey, der durch das in die Erweiterung tretende Quecksilber veranlaſst wird. Das Volum dieses Quecksilbers wird vorgestellt durch den Temperaturunterschied 42°,5—25°, und da diese Temperaturen entsprechen 81°—39°,2, so ist das Volum gleich $\frac{41{,}8}{6480}$.

Nun geht das Quecksilber aus der Temperatur 12°,6 in die 25° über; mithin ist die daraus erfolgende Volumsänderung gleich:

$$\frac{41{,}8}{6480}\times\frac{(25-12{,}6)}{5550}=\frac{518{,}32}{6480\times5550}.$$

Allein wir wissen, daſs das zur Einheit angenommene Volum des Wassers bei 12°,6 gleich war:

$$\frac{5576{,}1}{5550}.$$

Digitized by Google

Süſses Wasser.

Druck: 124 Atmosphären; (42,3—24,5) — (18,5—12,6)
(80,3—38,8) — (31,1—26,1) = 36,5.

$$\frac{5576,1}{5550} : \frac{36,5}{6480} :: 1 : x = 0,05605.$$

Dividirt man durch 124, kommt 0,0000452, und fügt man für die Zusammenziehung des Glases 1,6 hinzu, findet man für die mittlere Zusammendrückung des Wassers durch eine Atmosphäre 0,0000468.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
165	(48,3—20,3) — (22,3—12,6) ; 0,008693	0,0000542
97	(35,5—15,0) — (16,5—12,6) ; 0,004853	0,0000516
112	(46,6—33,0) — (15,0—12,6) ; 0,005686	0,0000523
220	(46,6—16,0) — (15,0—12,6) ; 0,009830	0,0000463
160	(46,6—15,0) — (25,1—12,6) ; 0,0081879	0,0000527
86	(43,5—11,5) — (32,9—12,6) ; 0,0045158	0,0000541
86	(46,6—15,0) — (35,3—12,6) ; 0,0047495	0,0000578

Um die mittlere Zusammendrückung für eine Atmosphäre zu erhalten, bemerke man, daſs 1298 Atmosphären einer Zusammendrückung von 0,063176 entsprechen, diese Zahl durch 1298 dividirt giebt 0,0000502, wenn man die Zusammenziehung des Glases in Rechnung zieht.

Alkohol von 32° Beaumé.

124	(39,2—18,5) — (27,6—12,6) ; 0,0079222	0,0000654
124	(37,1—18,5) — (24,5—12,6) ; 0,007937	0,0000656
124	(37,1—18,5) — (24,7—12,6) ; 0,007733	0,0000639
165	(40,0—20,2) — (22,2—12,6) ; 0,012622	0,0000781
220	(40,0—21,3) — (20,2—12,6) ; 0,013628	0,0000635
160	(40,0—20,2) — (23,5—12,6) ; 0,011191	0,0000715
86	(40,0—20,2) — (28,3—12,6) ; 0,005800	0,0000690

Die mittlere Zusammendrückung, berichtigt für die Wirkung des Glases, ist 0,0000682.

Wir haben also die Proportion

$$\frac{5576.1}{5550} : \frac{518,32}{6480 \times 5550} :: 1 : x = 0,000014.$$

Dividirt man diese letztere Zahl durch 124, so kommt 0,0000001. Diese muſs man von der für die Compression des Wassers gefundene Zahl 0,0000471 abziehen, und so erhält man das Endresultat 0,0000470.

Digitized by Google

Alkohol von 40° Beaumé.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
124	(40,5—22,3) — (22,0—12,6) ; 0,12196	0,0000999
124	(39,9—21,7) — (22,0—12,6) ; 0,12133	0,0000994
97	(40,5—22,3) — (25,7—12,6) ; 0,007630	0,0000802
160	(40,5—22,3) — (19,6—12,6) ; 0,015107	0,0000960
160	(28,3—10,5) — (16,2—12,6) ; 0,017090	0,0001084
86	(28,3—10,5) — (22,6—12,6) ; 0,0095054	0,0001121

Das allgemeine Mittel ist 0,0000996. Die HH. Sturm und Colladon fanden 0,0000944, allein sie gaben nicht die Concentration ihres Alkohols an. Aus meinen Versuchen geht aber hervor, daſs die Zusammendrückbarkeit des Alkohols sich sehr mit seinem Wassergehalt ändert.

Kleesäure, bei 11° C. gesättigte Lösung.

160	(38,9—15,7) — (16,2—12,6) ; 0,007347	0,0000474
160	(37,2—13,9) — (16,2—12,6) ; 0,006944	0,0000450
86	(38,9—15,7) — (27,3—12,6) ; 0,004303	0,0000516
86	(37,2—13,9) — (26,5—12,6) ; 0,004211	0,0000505

Das allgemeine Mittel ist 0,0000479. — Die angewandte Lösung der Kleesäure war bei 11° gesättigt; wenn man sie in einem mit ihr gefüllten Gefäſs bis 7° erkaltete, schlug sich eine groſse Menge Krystalle nieder, die eine oder zwei Stunden, nachdem man die Flüssigkeit bis 15° oder 18° erwärmt hatte, noch nicht verschwanden. Als ich die Lösung bei 12°,6 durch 160 Atmosphären zusammendrückte, verdichtete sie sich mehr als es die Temperatursenkung 12°,6—7° that, und dennoch konnte ich, bei mehrmaliger Wiederholung der Versuche, keine Spur von einer Ausscheidung von Krystallen wahrnehmen.

Diese Beobachtung scheint zu beweisen, daſs die Ausscheidung eines in einer Flüssigkeit gelösten Körpers mehr von der Temperaturänderung als von der Dichtigkeitsänderung der Flüssigkeit abhängt.

Essigsäure von 9°,6 Aréometr. bei 17° Temp.

86	(25,5—10,8) — (21,2—12,6) ; 0,004669	0,0000558
160	(25,5—10,8) — (16,2—12,6) ; 0,007580	0,0000489

Digitized by Google

Das Mittel ist 0,0000312. Eine weniger concentrirte Säure einem Drucke von 124 Atmosphären ausgesetzt, gab mir die geringere Zusammendrückung 0,000039 für eine Atmosphäre.

Concentrirte Schwefelsäure.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
160	(47,9—18,5) — (32,4—12,6) ; 0,005061	0,0000332
86	(28,8—15,7) — (21,3—12,6) ; 0,002717	0,0000331

Das Mittel, berichtigt wegen des Glases, ist 0,0000332.

Concentrirte Chlorwasserstoffsäure, von 23°,3 B. bei 16°,8 C.

160	(26,8—10,5) — (16,2—12,6) ; 0,006649	0,0000431
86	(36,0—15,0) — (27,7—12,6) ; 0,003603	0,0000434

Das berichtigte Mittel ist 0,000432.

Ammoniakflüssigkeit.

124	(36,4—22,0) — (22,0—12,6) ; 0,004421	0,0000372
124	(36,8—22,6) — (22,0—12,6) ; 0,004359	0,0000367
97	(25,8—15,0) — (16,5—12,6) ; 0,003651	0,0000392
112	(32,5—23,5) — (15,0—12,6) ; 0,004760	0,0000441
220	(32,5—15,0) — (18,9—12,6) ; 0,007409	0,0000352
220	(30,8—15,8) — (15,4—12,6) ; 0,007394	0,0000352
160	(30,8—15,8) — (18,4—12,6) ; 0,005961	0,0000388
160	(32,5—15,0) — (21,5—12,6) ; 0,005884	0,0000383

Das allgemeine Mittel ist 0,0000376.

Meerwasser.

124	(42,9—18,5) — (25,2—12,6) ; 0,004925	0,0000413

Eine zweite Messung gab identisch dieselben Resultate.

Lösung von schwefelsaurem Natron, von 13°,8 B. bei 16°,0 C.

160	(36,4—14,7) — (16,2—12,6) ; 0,0066855	0,0000434
160	(37,4—16,0) — (16,2—12,6) ; 0,007011	0,0000454
86	(36,4—14,7) — (26,5—12,6) ; 0,003319	0,0000402
86	(37,4—16,0) — (26,0—12,6) ; 0,003881	0,0000461

Das allgemeine Mittel ist 0,0000444.

Digitized by Google

Naphtha.

Atmosph.		Zusammendr. für 1 Atm.
97	(41,5—22,5) — (25,3—12,6) ; 0,007931	0,0000833
112	(34,1—15,0) — (25,0—12,6) ; 0,007178	0,0000656
220	(41,5—22,5) — (15,0—12,6) ; 0,017179	0,0000797
220	(41,5—22,5) — (17,4—12,6) ; 0,015063	0,0000700
160	(41,5—22,5) — (20,0—12,6) ; 0,012727	0,0000811
160	(41,5—22,5) — (21,0—12,6) ; 0,011818	0,0000754
86	(41,5—22,5) — (26,5—12,6) ; 0,006677	0,0000791
86	(41,5—22,5) — (27,2—12,6) ; 0,005940	0,0000706

Das allgemeine Mittel ist 0,0000756.

Terpenthinöl.

114	(41,9—28,2) — (18,5—12,6) ; 0,007491	0,0000620
165	(41,5—20,2) — (22,2—12,6) ; 0,011056	0,0000686

Das Mittel ist 0,0000657.

Quecksilber.

Druck von 97 Atmosphären. Um die Zusammendrückung des Quecksilbers zu bestimmen, wurde ein wie Fig. 11, Taf. III, Bd. 61, eingerichtetes Thermometer angewandt.

Es wurde zu gleichen Volumen mit Wasser und Quecksilber gefüllt; die Graduirung geschah wie bei den vorhergehenden Instrumenten, d. h., nachdem man einen Feilstrich auf der Röhre gemacht hatte, suchte man, bei welcher Temperatur das Quecksilber hinter ihm stand. Nachdem hierauf das Thermometer hinreichend erkaltet worden, bestimmte man die Temperatur, bei welcher das Niveau der Säule sich in die Erweiterung zu ergieſsen anfing. Nach der Versenkung in's Meer endlich merkte man sich die neue Temperatur, bei welcher das Niveau den Strich erreichte. Da die des Meeres bekannt war, so hatte man sonach vier Zahlen, analog denen der vorhergehenden Versuche, z. B. folgende:

(32,6—16,5) — (18,0—12,6) = 10,7.

Hierauf nahm man ein wohl auf Glas graduirtes Thermometer, leerte es, füllte es mit Wasser und brachte es successiv in die oben angezeigten Temperaturen. Die neuen, den verschiedenen Lagen des Wasserniveau's entsprechenden Zahlen waren:

$$(55{,}7-29{,}1)-(30{,}5-26{,}1)=22{,}2.$$

Mit diesen Zahlen konnte man die totale Compression berechnen. Denn der Theil der Säule, welcher die Compression vorstellt und geschätzt ward durch die Temperaturveränderungen des Quecksilbers in der Erweiterung, ist gegeben durch die Proportion

$$\frac{5562{,}6}{5550}:\frac{10{,}7}{6480}::\tfrac{1}{2}:x=\frac{0{,}001647}{2},$$

der, welcher herrührt von den Temperaturvariationen des Wassers in der Erweiterung, ist gegeben durch die Proportion:

$$\frac{5576{,}7}{5550}:\frac{22{,}2}{6480}::\tfrac{1}{2}:x=\frac{0{,}003409}{2}.$$

Das gesammte Volum der die Compression vorstellenden Säule ist also:

$$\frac{0{,}001647}{2}+\frac{0{,}003409}{2}=0{,}002528,$$

das der Erweiterung zur Einheit genommen.

Wie wir gesehen, comprimirt sich das Wasser für eine Atmosphäre um 0,0000486 und für 97 um 0,0047142, wovon das Mittel 0,0023571 ist. Zieht man diese Zahl von 0,002528 ab, so kommt 0,000171. Verdoppelt man letztere, dividirt durch 97 und fügt dem Quotienten 1,6 Milliontel für die Compression des Glases hinzu, so hat man die des Quecksilbers 0,0000051.

Quecksilber.

Druck: 160 Atmosphären. Thermometer enthaltend gleiche Volume Quecksilber und Wasser.

Atmosph.	$(39{,}7-15{,}6)-(20{,}2-12{,}6)=16{,}5$
160	$(71{,}8-28{,}3)-(33{,}0-12{,}6)=36{,}6,$

woraus für das Quecksilber:

$$\frac{5562,6}{5550} : \frac{16,5}{6480} :: \tfrac{1}{2} : x = \frac{0,002545}{2}$$

und für das Wasser

$$\frac{5576,1}{5550} : \frac{36,6}{6480} :: \tfrac{1}{2} : x = \frac{0,005621}{2}.$$

Die gesammte Zusammendrückung ist also:

$$\frac{0,002545}{2} + \frac{0,005621}{2} = 0,004083.$$

Das Wasser comprimirt sich für 160 Atmosphären um 0,007776, wovon die Hälfte 0,003888 ist. Zieht man diese Zahl von 0,004083 ab, verdoppelt den Unterschied, dividirt durch 160, und fügt dem Quotienten 1,6 Milliontel hinzu, so kommt 0,0000040 für den Coëfficienten der Zusammendrückung des Quecksilbers.

Quecksilber.

Druck: 112 Atmosphären. Thermometer enthält gleiche Volume Quecksilber und Wasser.

Atmosph.	
112	(34,5—17,9) — (17,4—12,6) = 11,8
	(58,9—30,3) — (29,9—26,1) = 24,8.

Daraus ergeben sich die beiden Proportionen:

$$\frac{5562,6}{5550} : \frac{11,8}{6480} :: \tfrac{1}{2} : x = \frac{0,001817}{2}$$

$$\frac{5176,1}{5550} : \frac{24,8}{6480} :: \tfrac{1}{2} : x = \frac{0,003808}{2}.$$

Die Zusammendrückung des Wassers für einen Druck von 112 Atmosphären, ohne Rücksicht auf die Zusammendrückung des Glases, ist 0,0054432, und wenn man die Rechnung wie im vorhergehenden Beispiel fortsetzt, findet sich der gesuchte Coëfficient gleich 0,0000032.

Das Mittel der drei vorstehenden Beobachtungen, mit Rücksicht auf die Compression des Glases, ist 0,0000040.

Digitized by Google

Wahre Zusammendrückung der untersuchten Flüssigkeiten für Eine Atmosphäre.

	bei 12°,6 C.	Nach Colladon und Sturm bei 0°.
Süſses Wasser	0,0000502	0,0000488
Alkohol von 32° B.	0,0000682	
do. von 40° B.	0,0000996	0,0000944
Kleesäure	0,0000479	
Essigsäure	0,0000512	
Schwefelsäure	0,0000332	0,0000302
Chlorwasserstoffsäure	0,0000432	
Ammoniak.	0,0000376	0,0000363
Meerwasser.	0,0000413	
Schwefelsaures Natron	0,0000444	
Naphtha	0,0000756	
Terpenthinöl	0,0000657	0,0000713
Quecksilber	0,0000040	0,0000033

Wie man sieht, sind die von mir bei 12°,6 C. erhaltenen Zahlen gröſser als die von den HH. Sturm und Colladon bei 0° gefundenen. Nur das Terpenthinöl macht eine Ausnahme, aber, wie schon gesagt, war das von mir angewandte nicht rein [1]).

Die-

1) Als ich zu den Compressionsversuchen ein Thermometer mit Terpenthinöl füllte, bildeten sich bald Gasbläschen, die sich oft sogar so weit vergröſserten, daſs sie einen bedeutenden Theil der Erweiterung des Instruments erfüllten. Um zu sehen, bis wie weit diese Gasentwicklung gehen würde, nahm ich eine Röhre von $0^m,01$ Durchmesser und $0^m,25$ Länge, bog sie in der Mitte, und verschloſs sie an einem Ende vor der Lampe. Hierauf füllte ich sie mit Quecksilber und Terpenthinöl, dergestalt, daſs dieses in dem verschlossenen Schenkel eine Säule von $0^m,02$ Länge bildete. Nachdem ich mich überzeugt, daſs keine Luft mehr mit dem Terpenthinöl in Berührung war, und daſs die äuſsere nicht die Quecksilbersäule durchdringen konnte, stellte ich den kleinen Apparat an einer Mauer auf. Nach einigen Tagen gewahrte ich eine Gasblase auf dem Oele schwimmen; sie vergröſserte sich während zweier Monate fortdauernd, und erreichte zuletzt ein Volum wenigstens so groſs, wie das des Terpenthinöls. Ich kann nicht sagen, von welcher Natur dieses Gas war, und worauf seine Bildung beruhte. Die mit dem Terpenthinöl in Berührung stehende Quecksilberfläche hatte ihren Metallglanz verloren, und war

Diese Resultate scheinen zu beweisen, daſs im Allgemeinen die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten zunimmt mit steigender Temperatur, daſs sie beim Wasser abnimmt, wenn Salze darin gelöst worden, und daſs die Ammoniaklösung eine der wenigst zusammendrückbaren Flüssigkeiten ist.

Eine wichtige Folgerung, die sich auch aus obigen Versuchen ergiebt, ist die Proportionalität der Zusammendrückbarkeit mit dem Druck, nachgewiesen bis zu 220 Atmosphären. Um dieſs Gesetz anschaulich zu machen, haben wir den vergleichenden Gang des Drucks und der Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten, mit denen wir experimentirten, durch Linien vorgestellt [1]).

Giebt man dieses Gesetz zu, so kann man es benutzen, um mit Flüssigkeiten Manometer zu verfertigen, die für den Fall, daſs es sich um Funfzige von Atmosphären handelt, anwendbar sind. Man kann auch submarine Temperaturen mit Minima-Thermometer bestimmen, ohne daſs man diese, wie gewöhnlich geschieht, in kupferne Büchsen einzuschlieſsen braucht, sobald nur die Zusammendrückung ein kleiner Bruch von der Volumsveränderung ist, die durch die Temperaturveränderung bewirkt wird. Man braucht nur vom Stiel des Thermometers die Spitze abzubrechen, damit der Druck des Wassers zugleich innen und auſsen wirke. Kennt man die senkrechte Tiefe, zu welcher das Instrument gelangt ist, so ergiebt sich daraus der Druck und mithin auch die Temperatur. Die Anwendung kupferner Büchsen ist un-

bedeckt mit einer ziemlich dünnen Schicht einer pulverförmigen grauschwarzen Materie. Die HH. Sturm und Colladon machen in ihrer Abhandlung die Bemerkung, daſs im Allgemeinen das Daseyn eines Gases in einer Flüssigkeit die Compression derselben verringere. Ich glaube, daſs man, wenigstens zum Theil, dieser Ursache die Geringerheit der von mir gefundenen Zahl zuschreiben müsse.

1) Wir haben diese Construction fortgelassen, da sie nicht unentbehrlich nöthig ist. *P.*

Digitized by Google

bequem, da es schwer hält sie so zu verschlieſsen, daſs das Wasser nicht durch die Fugen eindringt; überdieſs muſs man beim Aufschrauben der Büchse eine Gewalt anwenden, die leicht den Zeiger des Instruments verrückt. Auch das Gewicht des Instruments ist unbequem, denn es hindert den Beobachter, Schnüre von kleinem Durchmesser anzuwenden. Endlich ist die Masse der Hülle so groſs, daſs das Thermometer die Temperatur des Mittels, in welches das Instrument versenkt ist, erst nach einer halben Stunde annimmt.

Wenn man fern von der Küste bei windstillem Wetter Peilungen (*sondages*) ausführt, können die Stricke senkrecht hinabgehen; allein an Orten, wo das Meer zusammengeschnürt ist, wie in Meerengen, ist der Vorgang anders. Die Beugung der Stricke macht, daſs der Beobachter zuweilen den Grund nicht erreicht, oder, wenn er ihn erreicht, daſs er ihn in gröſserer Tiefe liegend glaubt, als es wirklich der Fall ist. In diesen Fällen, glaube ich, kann man mit Vortheil das Flüssigkeits-Manometer anwenden, welches ich beschreiben will. Es stützt sich auf das erwähnte Compressionsgesetz und ist so eingerichtet, daſs man es beliebig oft anwenden kann.

Die Gestalt desselben ist nahe die eines Ausfluſs-Thermometers, Fig. 12, Taf. III, Bd. 61. Die Spitze der in den Bauch hineingehenden Röhre ist etwas gekrümmt, und tritt in eine kleine Höhlung, die zur Aufnahme des ausgeflossenen Quecksilbers bestimmt ist. Die Röhre ist nahe am Knie mit zwei kleinen Erweiterungen *BB* versehen.

Um dieses Manometer zu graduiren, merke ich mir genau die Temperatur, bei welcher das Quecksilber auszuflieſsen beginnt, und diese Temperatur muſs möglichst derjenigen des Mittels, in welchem man operiren will, nahe seyn. Gesetzt, der Ausfluſs beginne bei 4°. Ich erwärme den Apparat bis 10° und mache im Niveau des Quecksilbers einen Feilstrich auf der Röhre; ich wieder-

Digitized by Google

hole die Operation, erst bei 15°, dann bei 20° u. s. w. Hierauf befestige ich am Manometer eine kleine Skale, auf welche ich die successiven Grade auftrage. So vorgerichtet, senke man das Instrument in's Meer, und, nachdem es heraufgezogen worden, bestimme man die Compression auf folgende Weise.

Man stelle das Instrument in ein Gefäſs voll Wasser, dessen Temperatur α man genau bestimme. Sey β die entsprechende Angabe des Manometers und γ die Temperatur des Meers am Ort, wohin es versenkt worden. Die vier Zahlen

$$(\beta - 4) - (\alpha - \gamma)$$

werden die Compression und mithin die Meerestiefe kennen lehren, wenn man nach der zu Anfange dieser Abhandlung gegebenen Anweisung verfährt. Um hierauf das Manometer zu einem zweiten Gebrauche in Stand zu setzen, braucht man es nur zu erwärmen, um das Quecksilber wieder in die Röhre treten zu lassen. Dieses treibt den Alkohol vor sich hin, und in der Kugel *B* nehmen beide, wegen ihrer ungleichen Dichtigkeit, ihre regelmäſsige Stellung wieder ein; beim Erkalten sieht man den Alkohol wieder in den Bauch steigen [1]), und wenn diese Operation nicht hinreicht, erwärmt man es abermals. Man braucht übrigens nicht alles Quecksilber wieder in die Röhre treten lassen, sondern nur so viel, daſs die Peilung nach dem Ausfluſs stattfinden kann.

Wir sagten oben, daſs man, um die Tiefe des Meeres zu ermitteln, direct die Temperatur desselben bestim-

1) Ich glaube es würde vortheilhaft seyn, die Thermometergraphen mit zwei kleinen Kugeln *B*, *B* zu versehen, wie ich es bei meinem Manometer gethan. Personen, welche Gelegenheit hatten, submarine Temperaturen zu nehmen, werden bemerkt haben, daſs die Quecksilbersäule sich öfters zertheilt oder über den Index hinausgeht. Dieser Uebelstand verschwindet durch den vorgeschlagenen Zusatz, denn es wird leicht seyn, das Instrument wieder in seinen normalen Zustand zu versetzen.

Digitized by Google

men, und folglich hohle Metallcylinder anwenden müsse. Man könnte sich aber dessen überheben, wenn man zwei Manometer anwendete, eins mit Alkohol und eins mit Schwefelsäure, dessen Compressionscoëfficient sehr gering ist. Allein dieſs wenig genaue Verfahren wäre nur selten anzuwenden.

Schlieſslich bemerke ich, daſs das oben beschriebene Verfahren auch benutzt werden könnte, um Compressionen über 200 Atmosphären mit einander zu vergleichen, obwohl für solche das Gesetz der Proportionalität noch nicht erwiesen ist. Es wird anzeigen können, ob ein Meer tiefer sey als ein anderes, und dann würde die Tiefe provisorisch durch eine Zahl ausgedrückt seyn, deren entsprechender Druck später zu ermitteln wäre. Ich glaube endlich, daſs es bei allen etwas wichtigen Peilungen zweckmäſsig wäre, ein oder mehre Manometer mit dem Senkblei hinabzulassen; dieſs ist um so leichter ausführbar, als Gewicht und Volum dieser Instrumente sich so verringern lassen, daſs daraus kein Beschwerniſs für den Beobachter entsteht.

Condensation der Gase durch Druck.

Ueber die Condensation der Gase verdankt man Hrn. Faraday die merkwürdigste Arbeit. Denn mittelst zweckmäſsig vorgerichteter Glasröhren ist er dahin gelangt, alle Gase zu liqueficiren, die dazu bei gewöhnlicher Temperatur keinen über 50 Atmosphären hinausgehenden Druck erfordern. Die Haltbarkeit seiner Apparate erlaubte ihm nicht diese Gränze zu überschreiten. Später hat Hr. Thilorier dieselben Versuche mit Anwendung guſseiserner Gefäſse vorgenommen, und dabei die Eigenschaften der flüssigen Kohlensäure in sehr ausgedehntem Maaſse untersucht. Eine Explosion, der mehre Personen zum Opfer wurden, hat diese Arbeiten unterbrochen.

Im ersten Theil dieser Abhandlung habe ich gesagt,

Digitized by Google

daſs ich das Meer als Compressionsmaschine für Flüssigkeiten anwandte; ich habe es auch für Gase benutzt.

Die Gase, welche bei Hrn. Faraday's Versuchen der Liquefaction widerstanden, waren Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Doppelt-Kohlenwasserstoff, Stickstoffoxyd, Kohlenoxyd, Fluokiesel und Fluobor. Es sind diese, mit denen ich meine Versuche anstellte.

Der zur Aufnahme der Gase angewandte Apparat ist in Fig. 13, Taf. III, abgebildet. Eine 4 Decimeter lange capillare Glasröhre *AB* ist bei *A* und *B* gekrümmt, und bei *B* angeschmolzen an eine andere, *BC*, die etwa 1 Centm. inneren Durchmesser und 15 Centm. Länge hat. Der Theil *A* tritt in eine kleine Röhre *D*, die an beiden Enden offen ist und durch einen Draht an der Röhre *A* gehalten wird.

Die Röhre *D* und das Röhrenende *A* befinden sich in der Blase *K*, die am Knie *A* wohl festgeschnürt ist; sie enthält das zu comprimirende Gas und trägt ein kleines Gewicht *G*. Röhre und Blase sind bei *A*, *G*, *B* durch Schnüre an einem Eisenstab *LL* befestigt. Das innere Volum der Röhre *D* beträgt etwa 5 Kubikcentim. und das des Gases in der Blase etwa 2 Liter.

Senkt man diesen Apparat in's Meer, so wird das Gas comprimirt, und es kann nicht entweichen, da es von der in der Röhre *BC* befindlichen Quecksilbersäule zurückgehalten wird. Eben so wenig kann das Wasser durch die Röhre in die Blase gelangen. Wenn das Gas durch den Druck sein Volum sehr verringert hat, so wird es, vermöge der Spannung, welche das kleine Gewicht *G* auf die Blase ausübt, genöthigt, sich in die Röhre *D* zu begeben.

So lange das in der Blase enthaltene Gasvolum gröſser ist als die Geräumigkeit der Röhre *D*, bleibt die Quecksilbersäule in der Röhre *BC*. So wie es aber unter diese Gränze kommt, steigt das Quecksilber wieder, ergieſst sich in die Röhre *D* und fällt in die Blase hinab.

Digitized by Google

Ich comprimirte Doppelt-Kohlenwasserstoff, Stickstoffoxyd, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenoxyd und Sauerstoff bis zu 47 Atmosphären, letzteren allein so weit, daſs das Quecksilber in die Blase trat.

Mit denselben Substanzen wurde der Versuch bei 88 Atmosphären wiederholt, und es fand sich Quecksilber in den Blasen, die Sauerstoff und Doppelt-Kohlenwasserstoff enthielten. Dasselbe Resultat erhielt ich mit Stickstoffoxyd bei einem Druck von 121 Atmosphären, und mit Kohlenoxyd bei dem von 165. Wasserstoff und Stickstoff wurden bei diesem letzteren Druck nicht liqueficirt.

Da mir die gemessene Spannkraft des Sauerstoffs zu gering vorkam, so glaubte ich, ehe ich schlösse, daſs die Condensation desselben unter einem Druck von 47 Atmosphären erfolgt sey, untersuchen zu müssen, ob nicht das beobachtete Resultat aus einer vernachlässigten Ursache entsprungen sey. Ich wiederholte also meine Beobachtungen nach einem ganz anderen Verfahren, und erkannte nun, daſs der Sauerstoff nicht nur bei 47, sondern gar bei 165 Atmosphären nicht flüssig wird. Wie aber konnte die Condensation geschehen seyn? Hätte das Wasser die Eigenschaft, unter Druck eine groſse Menge dieses Gases zu lösen und dadurch gleichsam oxygenirt zu werden? Oder fand durch die Membran der Blase hier eine Absorption statt? Diese Fragen verdienen untersucht zu werden.

Der Apparat, mit dem ich die Versuche zur Condensation des Sauerstoffs wiederholte, bestand aus einem groſsen Ausfluſs-Thermometer, das mit Gas gefüllt und in ein Probeglas mit Quecksilber gestellt wurde. Es besteht aus drei aneinandergelötheten Röhren *DC*, *CB*, *BA*. Die erste ist 2 Decimeter lang und 2 Centim. weit (Fig. 14, Taf. III, Bd. 61). Das fast verschlossene Ende *D* hat nur eine capillare Oeffnung. Die zweite Röhre *CB* ist zu einer Spitze ausgezogen, und diese tritt in die dritte

Digitized by Google

Röhre *BA*, fast bis zum Ende *A*. Das Probeglas und der Gasbehälter werden durch einen Eisenstab gehalten, an welchem das Senkblei befestigt ist.

Wenn man diesen Apparat in's Meer senkt, steigt das Quecksilber vermöge des Wasserdrucks in den Behälter und ergieſst sich, wenn die Condensation des Gases hinreichend ist, in die obere Röhre *BA*. Der Unterschied zwischen der inneren Geräumigkeit dieser Röhre und dem Volum des ausgeflossenen Quecksilbers giebt das Volum des Gases im Zustande seiner gröſsten Condensation. Kennt man die Geräumigkeit des gesammten Behälters, so ist die Dichtigkeit und der Verdünnungsgrad des comprimirten Gases leicht daraus abzuleiten.

Um den Behälter mit Gas zu füllen, bringt man erst Quecksilber hinein und gieſst dieſs darauf in einen Behälter voll des zu untersuchenden Gases. Dann verschlieſst man die Spitze *A*, erst mit Wachs und hernach mit dem Löthrohr.

In gewissen Fällen habe ich mich anders benommen. Durch Pfropfen war der Apparat mit Flaschen verknüpft, die zur Bereitung des Gases dienten, so daſs man es durch die Oeffnung *D* eintreten und durch die Spitze *A* ausflieſsen lassen konnte. Nachdem die Entwicklung einige Minuten gedauert hatte, verschloſs ich die Spitze mit weichem Wachs, nahm die Flaschen fort, verschloſs die Oeffnung *D* mit Wachs und darauf mit der Lampe die Spitze *A*.

Die Ordnung, in welcher sich die Gase in diesem Apparat condensirten, fand ich der früheren gleich; nur der Sauerstoff machte eine Ausnahme.

Sauerstoff wurde durch einen Druck von 83 Atmosphären im Verhältniſs 90 : 1 Vol. comprimirt. Doppelt-Kohlenwasserstoff liquescirte sich durch einen Druck von 124 Atmosphären. Die Condensation erfolgte im Verhältniſs 356 : 1; dieſs giebt für die Dichtigkeit der Flüssigkeit 0,44, die des Wassers zur Einheit genommen. Stick-

Digitized by Google

stoffoxyd wurde durch einen Druck von 165 Atmosphären im Verhältniſs 251 : 1 reducirt. Wenn man also annimmt, es sey zur Flüssigkeit geworden, so würde diese die Dichte 0,33 gehabt haben. Kohlenoxyd wurde durch diesen Druck im Verhältniſs 180 : 1 verdichtet, Sauerstoff in dem 160 : 1.

Wasserstoff und Stickstoff konnten durch 220 Atmosphären nicht liqueficirt werden. Endlich ward das Fluokieselgas durch 105 Atmosphären im Verhältniſs 350 : 1 verdichtet, was für die Dichtigkeit der Flüssigkeit 1,6 giebt.

Diese Resultate lassen in Bezug auf Genauigkeit Einiges zu wünschen übrig. Denn es hält schwer das Volum des ausgeflossenen Quecksilbers und das des Behälters gut zu bestimmen; auch ist es möglich, daſs das liqueficirte Gas, wenn es wieder in den Gaszustand übergeht, eine gewisse Menge Quecksilber mit fortreiſst.

Um diese Uebelstände zu vermeiden, habe ich noch einen anderen, und, wie ich glaube, die beiden früheren übertreffenden Apparat ersonnen, den ich zwar noch nicht angewandt, den ich aber deſsungeachtet beschreiben will. Er besteht aus einem groſsen Ausfluſs-Thermometer von Quecksilber, dessen zweimal gebogene Röhre in eine Kautschuckblase voll Gas tritt. Ein Eisenstab, unten versehen mit einem Senkblei, hält das Thermometer und die Blase (Fig. 15, Taf. III). Gesetzt, man habe zuvor ermittelt, bei welcher Temperatur das Ende der Quecksilbersäule der Röhre in den Bauch tritt, und angenommen selbst, daſs das Gas bei der Temperatur 20° einzutreten beginne. Klar ist, daſs wenn man den Apparat bis 12°,6 erkaltet, in dem Bauche ein Vacuum entstehen wird, welches sich durch den Temperaturunterschied (20°—12°,6) genau bestimmen läſst. Dieſs Vacuum wird gefüllt werden durch das Gas der Blase, so daſs, wie groſs auch der auf den Apparat ausgeübte Druck seyn mag, das Volum des eingeführten Gases constant seyn wird. (Wir überge-

Digitized by Google

ben dabei die Zusammenziehung des Quecksilbers und des Glases, da man deren Effect zu berechnen weiſs.)

Man wird also im Voraus, wie auch der Druck seyn möge, das Volum des comprimirten Gases, und, nach Herausziehung des Apparats aus dem Meer, auch das des Gases bei gewöhnlichem Drucke kennen. Das Verhältniſs beider ergiebt die Condensation. Bei diesem Apparat ist nicht zu fürchten, daſs mit abnehmendem Druck das Gas des Bauches entweiche; vermöge seines specifischen Gewichtes strebt es immer sich von der Oeffnung der Spitze zu entfernen, wenn der Versuch so geleitet ist, daſs bei gewöhnlichem Druck das eingeführte Gas den Bauch des Thermometers kaum mehr als zur Hälfte füllt.

Das eben angedeutete Verfahren erlaubt, glaube ich, genauer als es bisher geschah das Verhältniſs der Volume eines Gases unter verschiedenen Drucken und die Dichtigkeit desselben im flüssigen Zustand zu bestimmen. Es wird auch dazu dienen, für jedes besondere Gas zu ermitteln, bis zu welcher Druckgränze das Mariotte'sche Gesetz richtig sey.

IV. *Ueber die Erscheinungen bei einer freien und der Wirkung der Schwere entzogenen flüssigen Masse; von J. Plateau* [1],

Professor der Physik in Gent.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Mém. de l'acad. roy. de Bruxelles*, *T. XVI*. — Vorläufige Notizen von dieser Abhandlung finden sich schon in dies. Ann. Bd. 55, S. 517, und Bd. 56, S. 167.)

---

1. Vermöge der ungemeinen Beweglichkeit ihrer Theilchen gehorchen die Flüssigkeiten mit groſser Leich-

1) Seit der Verfasser diese Abhandlung in der Brüsseler Academie las (15. Jan. 1842), hat er an ihr mehre wichtige Abänderungen ange-

Digitized by Google

tigkeit der Wirkung von Kräften, die ihre äuſsere Gestalt zu ändern trachten. Unter diesen Kräften giebt es eine, die dermaſsen über alle andere vorwaltet, daſs sie deren Wirkung fast gänzlich versteckt, und das ist die Schwerkraft. Sie nöthigt die Flüssigkeiten die innere Gestalt der von ihnen erfüllten Gefäſse anzunehmen, und sie macht den freibleibenden Theil von deren Oberfläche eben und horizontal. Kaum erkennt man längs dem Umriſs dieser freien Oberfläche eine schwache Krümmung, in der sich die vereinte Wirkung der Anziehung der Flüssigkeit auf sich selbst und der Anhaftung zu der starren Substanz des Gefäſses verräth. Nur dadurch, daſs man sehr kleine flüssige Massen, auf welche somit die relative Wirkung der Schwere sehr geschwächt ist, beobachtet, kann man auf eine deutliche Weise den Einfluſs anderer Kräfte auf die Gestalt dieser Massen wahrnehmen; so runden sich Tröpfchen auf Flächen, die sie nicht benässen können, zu mehr oder weniger vollkommenen Kugeln. Will man auſser diesen Minimis von Quantitäten flüssige Massen in ihrer eignen, frei angenommenen Gestalt erblicken, so muſs man die Erde verlassen, oder vielmehr den Erdkörper selbst, und die übrigen Planeten betrachten, wie sie ursprünglich flüssig, ihre äuſsere Gestalt der vereinten Wirkung der Attraction und der Centrifugalkraft angepaſst haben. Die Theorie weist dann nach, daſs diese Massen die Gestalt von mehr oder weniger im Sinne ihrer Rotationsaxe abgeplatteten Sphäroïden annehmen muſsten, und die Erfahrung bestätigt diese Deductionen. Die Beobachtung zeigt uns auch um den Saturn einen ringförmigen Körper, und die Theorie weiſs durch die vereinte Wirkung der Attraction und der Centrifugalkraft dem Gleichgewicht dieser sonderbaren Gestalt zu genügen.

Wenn wir aber eine der flüssigen Massen, welche

bracht, veranlaſst unter andern durch eine von Hrn. Liouville der Pariser Academie überreichten Arbeit.

Digitized by Google

uns zum Experimentiren gegeben sind, der Wirkung der Schwere entziehen könnten, ohne daſs sie aufhörte den übrigen Kräften zu gehorchen, die ihre Gestalt zu verändern suchen, und wenn unser Verfahren erlaubte, dieser Masse bedeutende Dimensionen zu geben, wäre es nicht recht sonderbar, sie eine bestimmte Gestalt annehmen und diese Gestalt sich auf tausendfache Weise mit den sie bedingenden Kräften verändern zu sehen? Nun ist es mir wirklich durch ein äuſserst einfaches Mittel gelungen eine bedeutende Flüssigkeitsmasse in diese Umstände zu versetzen.

2. Bekanntlich sind die fetten Oele weniger dicht als Wasser, und dichter als Alkohol. Man kann demnach ein Gemisch von Wasser und Alkohol machen, das genau eine gleiche Dichte hat wie ein gegebenes Oel, z. B. Olivenöl. Wenn man in ein so gebildetes Gemisch eine gewisse Quantität Oel bringt, so ist klar, daſs die Wirkung der Schwere auf dieses Oel vollständig vernichtet seyn wird; denn vermöge der Gleichheit der Dichte wird das Oel nur die Stelle einer gleichen Masse der umgebenden Flüssigkeit einnehmen. Andrerseits mischen sich die fetten Oele nicht mit der aus Wasser und Alkohol gebildeten Flüssigkeit; die Oelmasse wird also mitten in der umgebenden Flüssigkeit schweben bleiben und vollkommene Freiheit haben, die äuſsere Gestalt anzunehmen, welche ihr die auf sie etwa einwirkenden Kräfte vorschreiben.

Wenn nun die Molecular-Attractionen des Oels zu sich selbst, die des alkoholischen Gemisches zu sich selbst, und die dieses Gemisches zu dem Oel identisch wären, würde es keinen Grund geben, weshalb die inmitten der Flüssigkeit sich überlassene Oelmasse freiwillig eine Gestalt mehr als die andere annähme, weil sie rücksichtlich aller auf sie einwirkenden Kräfte genau in demselben Fall wäre, wie eine gleiche Masse des alkoholischen Gemisches, deren Stelle sie einnimmt. Allein es ist klar, daſs diese

Digitized by Google

Identität zwischen den verschiedenen Attractionskräften nicht statt hat, vielmehr die Anziehung des Oels zu sich selbst die beiden andern weit überwiegt. Die Oelmasse wird also diesem Ueberschuſs der eignen Attractionskräfte gehorchen.

Wir gelangen also zu dem Schluſs, daſs unsere Oelmasse vollkommen einer unschweren, frei im Raume schwebenden und bloſs seinen eignen Molecular-Attractionen unterworfenen Flüssigkeitsmasse vergleichbar ist. Eine solche Masse muſs aber offenbar eine Kugelgestalt annehmen.

Die Erfahrung bestätigt dieſs vollkommen. Die Oelmasse, wie groſs sie auch sey, bleibt nämlich mitten in der alkoholischen Flüssigkeit schweben, und nimmt die *Gestalt einer vollkommenen Kugel an.*

3. Um dieses auffallende Resultat mit Leichtigkeit zu erhalten, sind gewisse Vorsichtsmaſsregeln nothwendig, die ich beschreiben will.

Die nächsten betreffen die Bildung des alkoholischen Gemisches. Die Dichtigkeit dieses Gemisches ändert sich nothwendig mit der Art des angewandten Oels. Für das Oel, dessen ich mich bediente und für dessen Reinheit ich nicht einstehen will, zeigte das zweckmäſsigste Gemenge 22 Grad am Beaumé'schen Aräometer. Wenn man also Olivenöl anwenden will, kann man immer diese Dichte als erste Annäherung betrachten, und dann durch successive Versuche die Flüssigkeit genau auf den richtigen Punkt bringen. Zu dem Ende füllt man damit ein Probeglas und schüttet dann etwas Oel hinzu, mittelst eines Trichters mit langem Halse, der ungefähr bis zur Mitte der Höhe des Probeglases hinabreicht. Das Oel bildet bei seiner Ankunft in der Flüssigkeit ein Kügelchen, dem man einen Durchmesser von ungefähr zwei Centimeter geben und durch einen kleinen Stoſs vom Schnabel des Trichters sondern muſs, wenn es sich nicht von selbst abtrennt. Je nachdem nun das Kügelchen zu

Digitized by Google

Boden sinkt oder zur Oberfläche steigt, schlieſst man, daſs dem Gemisch zu viel oder zu wenig Alkohol zugesetzt worden ist; man fügt also demselben, unter Umrühren, entweder etwas Wasser oder etwas Alkohol hinzu, und beginnt den Versuch in dem Probeglase abermals. Diese Operationen wiederholt man so lange, bis das Oelkügelchen in der Flüssigkeit schweben bleibt, ohne anscheinend eine Neigung zum Steigen oder Sinken zu besitzen. Alsdann kann man das Gemisch als dem gesuchten Punkt sehr nahe liegend betrachten; ich sage: sehr nahe, denn da das Oelkügelchen in dem Probeglase von kleinen Dimensionen ist, so erleidet es in seiner Bewegung in der Flüssigkeit mehr Hinderniſs als eine Kugel von gleichem Durchmesser, und es kann im Dichtigkeits-Gleichgewicht mit der umgebenden Flüssigkeit zu seyn scheinen, während es bei einem beträchtlicherem Oelvolum nicht mehr der Fall ist.

4. Sobald das alkoholische Gemisch, welches in einer groſsen Krystallflasche von gewöhnlicher Form enthalten seyn mag, auf diesem Punkt der Annäherung angelangt ist, handelt es sich darum, die Oelmasse hineinzubringen. Zu dem Ende bedient man sich wiederum jenes langhalsigen Trichters und steckt denselben bis zu einer gewissen Tiefe in die Flüssigkeit. Den Trichter auf dem Hals der Flasche ruhen lassend, gieſst man das Oel etwas langsam hinein. Hat das alkoholische Gemisch zufällig genau die richtigen Verhältnisse, so bildet das Oel am Ende des Trichterhalses eine Kugel, deren Volum allmälig zunimmt, so wie man mehr von ihm zugieſst. Hat die Kugel die beabsichtigte Gröſse erreicht, so zieht man den Hals des Trichters vorsichtig heraus; die daran haftende Kugel hebt sich mit ihm gegen die Oberfläche der Flüssigkeit, und das darin enthaltene Oel fügt sich dem vorhergehenden hinzu. Endlich, wenn die Kugel fast die Oberfläche des alkoholischen Gemisches erreicht hat, trennt man sie durch einen kleinen Stoſs vom Trich-

Digitized by Google

ter ab. Gewöhnlich aber hat das Gemenge nicht genau die verlangte Dichtigkeit. Dann sieht man insgemein sich successiv mehre Oelkugeln bilden, die sich eine nach der andern vom Trichterhals absondern, um entweder langsam zum Boden der Flasche zu sinken, oder sich an die Oberfläche des alkoholischen Gemisches zu begeben. In diesem Fall sucht man zuvörderst alle diese Kugeln zu einer einzigen zu vereinen, was folgendermaſsen sehr leicht geschicht. Man bringt in eine von ihnen das Ende eines Eisendrahts. Das Haften des Oels am Metall erlaubt dann, diese Kugel mit Leichtigkeit in der umgebenden Flüssigkeit herumzuführen und sie mit einer zweiten Kugel zu vereinen, und wenn man diese Operation fortsetzt, gelingt es zuletzt, sie alle zu vereinigen [1]). Je nachdem nun die Kugel am Boden oder an der Oberfläche der Flüssigkeit bleibt, fügt man ihr vorsichtig eine gewisse Quantität Wasser oder Alkohol hinzu; dann verstöpselt man die Flasche, kehrt sie langsam und so, daſs die Oelkugel sich nicht trennt, mehrmals um, bis die Vermischung wohl bewerkstelligt ist, was statt hat, wenn man beim Sehen durch die Flasche gegen ein Fenster keine Streifen mehr in der Flüssigkeit erblickt. Endlich wiederholt man dieselbe Operation so lange, bis die Oelkugel sich vollständig im Gleichgewicht in der umgebenden Flüssigkeit erhält.

5. Wenn man, wie ich voraussetzte, mit einer Flasche von gewöhnlicher Form, d. h. von cylindrischer Form, operirt, so erscheint die Oelmasse nicht genau als Kugel,

1) Um solchergestalt zwei Kugeln zu vereinigen, genügt es nicht, sie mit einander in Berührung zu bringen; sie können sich lange Zeit berühren, ohne zu einer einzigen zusammenzuflieſsen; man würde sagen, sie wären mit einem, ihrer Vereinigung sich widersetzenden Häutchen umgeben. Man muſs also das Ende des Metalldrahts auch in die zweite Kugel bringen, wie wenn man die Scheidewand durchbrechen wollte, die beide Massen trennt. Alsdann geschieht die Vereinigung sogleich. Ich werde in einem andern Theil dieser Abhandlung auf diese Erscheinungen zurückkommen.

Digitized by Google

sondern in horizontaler Richtung ausgedehnter. Dieſs ist aber nur eine optische Täuschung, indem die Flasche mit der darin enthaltenen Flüssigkeit als eine cylindrische Linse mit senkrechter Axe wirkt, welche die horizontalen Dimensionen der Gegenstände scheinbar vergröſsert.

Um diese Täuschung zu vermeiden, bediene man sich eines Gefäſses mit ebenen Wänden, gebildet aus Glasplatten, die durch einen metallenen Rahmen zusammengehalten werden (§. 8). Dann genieſst man auf vollständige Weise das sonderbare Schauspiel einer bedeutenden Flüssigkeitsmasse in Gestalt einer vollkommenen Kugel, gleichsam einen im Himmelsraume schwebenden Planeten nachahmend.

Man kann auch, und dieſs ist sogar einfacher und wohlfeiler, statt des obigen Gefäſses einen Glasballon anwenden. Freilich zeigt sich nun die Oelmasse nur dann in ihrer wahren Gestalt, wenn sie die Mitte des Ballons einnimmt; allein die scheinbare Entstaltung ist schwach, sobald die Kugel sich nicht weit aus der Mitte entfernt. Ein Gefäſs dieser Art ist für die meisten der im ersten Theil dieser Abhandlung beschriebenen Versuche sehr zweckmäſsig, eignet sich aber nicht für die, welche ich später kennen lehren werde.

6. Nachdem man nun durch das beschriebene Verfahren eine schöne, wohl schwebende Kugel von, wie ich annehmen will, sechs bis sieben Centimeter Durchmesser erhalten hat, wird man folgende Eigenthümlichkeiten beobachten.

Zuvörderst wird das anfangs wohl hergestellte Gleichgewicht bald von selbst aufhören, indem man nach einigen Minuten die Kugel ihren Platz verlassen und mit ungemeiner Langsamkeit in der umgebenden Flüssigkeit aufsteigen sieht. Fügt man etwas Alkohol hinzu, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, und behandelt das Gemenge nach dem Verfahren im §. 4, so wird das Gleich-

Digitized by Google

gewicht nach einiger Zeit auf dieselbe Weise gestört seyn. Erst nachdem man es mehre Tage lang durch successive Zusätze kleiner Quantitäten Alkohol fortdauernd unterhalten hat, gelingt es endlich, ein bleibendes Gleichgewicht zu erlangen, welches nur gestört wird durch eine zufällige Ursache, von der wir im folgenden Paragraphen reden werden. Sinkt die Temperatur nicht unter 18° C., so sind dieſs die einzigen Erscheinungen, die man beobachtet; allein zuweilen, wenn die Temperatur unterhalb dieser Gränze bleibt, und immer, wenn sie unter 15° C. ist, zeigt sich eine andere Erscheinung, nämlich eine Abnahme der Durchsichtigkeit des Oels.

Diese Erscheinungen entspringen aus einer langsamen chemischen Action zwischen dem Oel und dem alkoholischen Gemisch. Die ersteren würden für die meisten der Versuche sehr unbequem seyn, allein glücklicherweise kann man sie beseitigen, indem es offenbar hinreicht, die beiden Flüssigkeiten erst dann anzuwenden, nachdem sie ihre Einwirkung auf einander vollständig ausgeübt haben. Das Oel und das alkoholische Gemisch sind dann gegen einander ganz wirkungslos. Uebrigens ist es leicht die beiden Flüssigkeiten in kurzer Zeit auf diesen relativen Neutralitätszustand zurückzuführen, wenn man sie, um das Oel zu zertheilen, mit einander schüttelt, dadurch die Wirkung beschleunigt, und sie nun durch ein zweckmäſsiges Verfahren trennt. Diese Operation erheischt einige Vorsichtsmaaſsregeln, die wir, um nicht den Gang der Abhandlung durch Details, die nicht unumgänglich sind, zu unterbrechen, im §. 24 auseinandersetzen werden.

7. Eine andere Ursache, welche das Gleichgewicht zwischen der Oelkugel und der umgebenden Flüssigkeit stört, sind die Temperaturänderungen; sie ändern die Gleichheit der beiden Dichtigkeiten, und man denkt sich kaum, wie weit die Empfindlichkeit eines solchen Systems in dieser Beziehung geht. Bringt man z. B. das Gefäſs

aus

Digitized by Google

aus einem Zimmer in ein anderes, wie wenig auch wärmeres oder kälteres, so beginnt die Kugel alsbald im ersten Fall zu sinken und im zweiten zu steigen. Man braucht sogar nur die Hände an das Gefäſs zu legen, um nach einigen Secunden zu sehen, daſs die Kugel zu sinken beginnt.

Gegen diese Temperaturwirkungen muſs man beständig auf seiner Hut seyn, weil sie Störungen in den Versuchen hervorbringen. Noch ein Beispiel davon aus eigner Erfahrung: Oel und alkoholisches Gemisch waren einzeln in Flaschen enthalten, und letzteres hielt einen sehr geringen Ueberschuſs von Alkohol. Nachdem ich zufällig diese beiden Flaschen aus dem Zimmer, worin sie sich befanden, in ein wärmeres gebracht hatte, fügte ich zunächst dem Gemisch eine gewisse Menge Oel hinzu, welche, vermöge des geringen Ueberschusses an Alkohol, langsam zu Boden sank. Kurze Zeit hernach goſs ich eine neue Quantität Oel hinein, und war erstaunt zu sehen, daſs diese sich dagegen zu dem oberen Theile des Gemenges begab. Der Grund dieser sonderbaren Verschiedenheit war folgender: Das in der einen Flasche enthaltene alkoholische Gemisch war an Menge sehr beträchtlich gegen das Oel in der andern. Im ersten Augenblick, da die Flüssigkeiten ihre Temperaturen noch nicht merklich geändert hatten, bewahrten sie unter einander dieselbe relative Dichtigkeit; allein nach ziemlich kurzer Zeit, da das Oel sich vermöge seines geringen Volums mehr erwärmt hatte als das alkoholische Gemisch, war es auch relativ leichter geworden. Die Wärme der Hand, mit der die Flasche Oel beim Eingieſsen gehalten wurde, hatte auch wohl zu diesem Effect beigetragen.

8. Gesetzt nun man habe eine schöne Oelkugel im permanenten Gleichgewicht mit der umgebenden Flüssigkeit und wolle sie anderen Kräften als die seiner eigenen Anziehung unterwerfen.

Es bietet sich zunächst die Idee dar, die Wirkung

der Schwungkraft zu versuchen. Zu dem Ende muſs man der Oelkugel eine Rotationsbewegung um einen ihrer Durchmesser einprägen, und dieſs gelingt, wenn man eine kleine Metallscheibe, die winkelrecht auf einer Axe steckt, in die Kugel schiebt und zum Rotiren bringt. Vermöge seiner Adhärenz zur Scheibe wird das Oel mit fortgezogen und die gesammte Flüssigkeit in Rotationsbewegung versetzt.

Bevor ich die Effecte dieser Bewegung auseinandersetze, will ich den von mir angewandten Apparat beschreiben, mittelst dessen alle Versuche vollkommen und sehr leicht gelingen. Er ist abgebildet in Fig. 11, Taf. II [1]). Das Gefäſs besteht aus ebenen rechteckigen Glasplatten, die einem eisernen Rahmen eingekittet sind; es ist in den Seiten 25 Centim. breit und 20 hoch. Die kleine Scheibe nebst ihrer Axe sind gleichfalls von Eisen, weil dieſs Metall das Oel bei längerem Contact nicht verunreinigt, wie es das Kupfer thun würde. Der Durchmesser der Scheibe beträgt etwa 35 Millimeter, und der ihrer Axe ungefähr 1,5. Die Axe geht mit ihrem unteren Ende in ein Loch, welches mitten in der den Boden des Kastens bildenden Glasscheibe befindlich, und unten durch ein angekittetes Eisenscheibchen verschlossen ist. Oben wird die Axe verlängert durch einen angeschraubten dickeren Eisendraht, welcher mit sanfter Reibung durch ein weiterhin beschriebenes Stück geht und am Ende die Handhabe trägt, mittelst welcher man die Scheibe zum Rotiren bringt. Wenn Alles in Ordnung ist, muſs sich die Scheibe in der halben Höhe des Gefäſses befinden. Die quadratische Glasplatte, die das Gefäſs oben verschlieſst, hat zwei Oeffnungen, jede versehen mit einer eisernen Dille, die durch einen eisernen Stöpsel verschlossen wird. Die eine dieser Oeffnungen befindet sich in der Mitte der Platte, und ihr Durchmesser beträgt 55 Millimeter. Durch

1) Die dem ersten Heft dieses Bandes beigegeben ist.

P.

Digitized by Google

den sie verschlieſsenden Stöpsel geht mit sanfter Reibung der Stiel, der einerseits die Axe der Scheibe und andrerseits die Handhabe aufnimmt (Fig. 12, Taf. II). Die andere Oeffnung ist kleiner und befindet sich nahe einer Ecke der Platte. Sie dient zur Hineinbringung sowohl des Metalldrahts, mittelst dessen man die partiellen Oelmassen vereinigt, als auch neuer Portionen Alkohols oder des Gemisches von anderer Dichte (§. 9), sobald man diese Operationen ausführen muſs, ohne die Scheibe von ihrer Stelle zu nehmen. Endlich ist die Deckplatte in einen eisernen Rahmen gekittet, welcher sie vertical rundherum umgiebt, so daſs er auf das Gefäſs wie ein Deckel auf eine Schachtel paſst. Die oberen Ränder der Seitenplatten des Gefäſses sind vor ihrer Einsetzung in den Rahmen zusammen abgeschliffen, so daſs die Deckplatte genau an sie anschlieſst; es reicht hin, diese Ränder und die eisernen Stöpsel mit etwas Oel einzureiben, um das Gefäſs, wenn Deckplatte und Stöpsel aufgesetzt sind, als verschlossen, und die Verdampfung des Alkohols aus dem Gemische hindernd, ansehen zu können.

Bei meinem Apparat sind die Glasplatten mittelst eines harzigen Kitts in dem Metallrahmen befestigt; allein dieser Kitt wird von dem alkoholischen Gemisch etwas angegriffen. Es würde daher wohl besser seyn, Glaserkitt anzuwenden, denn dieser wird wahrscheinlich nicht angegriffen werden, da das alkoholische Gemisch so bereitet ist, daſs es nicht mehr auf Oel wirkt (§§. 6 und 24). Uebrigens hält der Harzkitt so gut, daſs ich die alkoholische Flüssigkeit ganze Monate lang in dem Gefäſse stehen lassen konnte.

Der eben beschriebene Apparat ist der zweckmäſsigste, um die Erscheinungen, welche Gegenstand dieser Arbeit sind, in ihrer ganzen Schönheit zu erhalten: aber, wie schon gesagt, könnte man auch mit weniger Kosten und ohne groſsen Nachtheil einen Glasballon von etwas bedeutenden Dimensionen anwenden, wenigstens für die

Digitized by Google

Versuche, welche im ersten Theil dieser Abhandlung vorkommen. Der Ballon müſste zwei Tubulaturen haben, die eine zur Einbringung des Scheibensystems, die andere zu gleichem Zweck wie die zweite Oeffnung des Glaskastens. In dem Folgenden werde ich jedoch immer voraussetzen, daſs man das vorhin beschriebene Gefäſs mit ebenen Wänden gebrauche.

9. Nach gehöriger Aufstellung des Apparats handelt es sich nun darum, die Scheibe so von der Oelkugel umgeben zu lassen, daſs die Mittelpunkte beider so gut wie zusammenfallen. Um dieſs zu erreichen, versucht man zunächst, vor Einsteckung der Scheibe in das Gefäſs, den Mittelpunkt der Kugel dahin zu bringen, daſs er sich in der Höhe erhalte, welche der Mittelpunkt der Scheibe haben muſs. Dieſs zu erlangen ist ungemein schwierig, sobald die Kugel, wie wir bisher voraussetzten, in einer alkoholischen Flüssigkeit von genau gleicher Dichte schwebt, da dann kein Grund vorhanden ist, weshalb sie sich nicht höher oder niedriger halte; und selbst wenn der Zufall sie genau in die gewünschte Höhe gebracht hätte, würden die Bewegungen, welche das Einstecken der Scheibe veranlaſst, sehr wahrscheinlich diese Höhe ändern. Man muſs daher ein sichereres Verfahren anwenden; nachstehendes gelingt vollkommen. Man macht es anfänglich, daſs die alkoholische Flüssigkeit einen kleinen Ueberschuſs an Alkohol enthält. Man versieht das Gefäſs mit seinem Deckel, zieht den Stöpsel von der mittleren Oeffnung ab und gieſst durch diese das Gemisch hinein, in solcher Menge, daſs das Gefäſs nicht ganz gefüllt werde. Hierauf setzt man vorsichtig ein gewisses Quantum eines Gemisches hinzu, das weniger Alkohol enthält, nur 16° B. zeigt; vermöge seiner gröſseren Dichte sinkt dieſs unter, und breitet sich auf dem Boden des Gefäſses zu einer horizontalen Schicht aus. Nun bringt man das Oel hinein, welches, wegen des kleinen Ueberschusses an Alkohol in dem oberen Gemisch,

Digitized by Google

durch dieses hinabsinkt und sich, entweder in einer einzigen Masse oder in mehren kleinen (§. 4), auf die dichtere Schicht des unteren Gemisches legt. Ist dieſs erfolgt und sind mehre Oelkugeln da, so vereinigt man erst diese zu einer einzigen, rührt dann die Flüssigkeit mit einem Glasstabe vorsichtig um, so daſs sich die untere Schicht unvollständig mit den oberen mische, ohne jedoch die Oelmasse zu zertheilen, und läſst hierauf das Ganze stehen. Wie ersichtlich, entspringt daraus in der alkoholischen Flüssigkeit ein Dichtigkeitszustand, wachsend von den oberen weniger als das Oel dichten Schichten zu den unteren, die dichter als dasselbe sind, und folglich wird die Oelmasse sich in einer gewissen Schicht, deren Dichte der ihrigen gleich ist, im stabilen Gleichgewicht halten. Vollzieht man nun diese Operation mit gehöriger Vorsicht, d. h. unter sehr geringem Bewegen der Flüssigkeit, läſst sie dann stehen, um das erfolgende Resultat zu beobachten, beginnt wieder zu bewegen, läſst abermals stehen, und so fort, fügt endlich, wenn's nöthig ist, je nach den Umständen, entweder ein wenig vom 16grädigen Gemisch oder von reinem Alkohol hinzu, so kommt man leicht dahin, daſs sich die Oelmasse genau in der verlangten Höhe hält und zwar, wie wir gesehen, was die Verticale betrifft, in einer stabilen Lage [1]). Freilich kann dann in mathematischer Strenge die Oelmasse keine Kugel mehr darstellen; sie muſs in senkrechter Richtung ein wenig abgeplattet seyn, allein wenn man so operirt, daſs der Anwuchs der Dichtigkeiten in der Höhe, wo sich das Oel aufhält, sehr schwach ist, und das erreicht man durch zweckmäſsige Proben sehr

1) Die solchergestalt superponirten Flüssigkeitsschichten streben zwar schon von selbst sich zu vermischen, allein da sie in Ordnung ihrer Dichtigkeit liegen, so geschieht diese freiwillige Vermischung nur äuſserst langsam, und es bedarf vieler Tage, ehe die Flüssigkeit homogen wird. Es entspringt also daraus kein Nachtheil für die Versuche.

Digitized by Google

leicht, so ist die erwähnte Abplattung für das Auge unmerklich und die Masse scheint vollkommen kugelrund.

Für die Versuche, welche wir zu beschreiben haben, ist es am zweckmäſsigsten, der Oelkugel einen Durchmesser von 6 Centimet. zu geben. Dieſs gelingt leicht, wenn man zuvörderst eine kleinere Kugel bildet und dann successiv neue Portionen Oel hinzusetzt, die man mit der ersten vereinigt.

Es handelt sich nun darum, die Scheibe anzubringen. Nachdem dieselbe mittelst ihrer Axe an den durch den Metallstöpsel gehenden Stiel befestigt worden (§. 8), benäſst man sie, wie die Axe, zuvörderst mit Oel, steckt sie darauf langsam in die alkoholische Flüssigkeit und läſst sie dann mit ihrer Schneide in die Oelkugel eintreten. Da sie zuvor mit dieser Flüssigkeit benäſst worden, so legt sich die Kugel ohne Schwierigkeit an, und, was merkwürdig ist, sie stellt sich von selbst nach und nach so, daſs die Axe der Scheibe sie in einem Durchmesser schneidet. Dieſs entspringt offenbar aus der attractiven Wirkung dieser Axe oder vielmehr der sie benässenden Oelschicht, eine Wirkung, die sich symmetrisch rings um sie auszuüben strebt, und somit die Kugel gänzlich in eine symmetrische Stellung gegen die Axe bringt. Nun sieht man, daſs, da der Mittelpunkt der Kugel einerseits, wegen der Superposition der alkoholischen Schichten von ungleicher Dichte, in der Höhe des der Scheibe zu bleiben sucht, und andrerseits sich, wegen Symmetrie der von der Axe auf das Oel ausgeübten attractiven Wirkungen, in die Axe der Scheibe zu stellen strebt, die Centra der Kugel und der Scheibe zusammenfallen, und somit in einer stabilen Lage bleiben werden. Nur wird die Kugel, wegen Anziehung der Axe der Scheibe, in senkrechter Richtung schwach verlängert seyn, aber diese Verlängerung bedeutet wenig, wenn die Kugel, wie wir voraussetzten, einen Durchmesser von 6 Centimetern hat.

10. Nachdem die Oelkugel sonach zweckmäſsig ge-

Digitized by Google

stellt ist, dreht man langsam die Handhabe. Man sieht alsdann *die Kugel an den Polen sich abplatten und an ihrem Aequator aufschwellen*, und man verwirklicht somit im Kleinen, was, wie man annimmt, bei den Planeten stattgefunden hat.

Wiewohl nun die Resultate bei den groſsen Planetenmassen und unseren kleinen Oelmassen von gleicher Natur sind, so darf ich doch die Bemerkung nicht unterdrücken, daſs zwischen den Kräften, die in beiden Fällen thätig sind, ein wesentlicher Unterschied vorhanden ist. In dem ersten ist die Kraft, welche den groſsen Planetenmassen eine Kugelgestalt zu geben sucht, und welcher die Schwungkraft entgegenwirkt, die allgemeine Attraction; im zweiten ist die Kraft, welche gegen die kleine Oelmasse dieselbe Rolle spielt, die Molecular-Attraction, die anderen Gesetzen folgt. Allein da in beiden Fällen die Gesammtheit der Wirkungen auf einen Kampf gegen die Schwungkraft zurückkommt und eine andere Kraft die Kugelgestalt der flüssigen Masse zu unterhalten trachtet, so begreift man, daſs die Resultate, was die von der Masse anzunehmende Figur betrifft, analog, wenn nicht identisch seyn müssen.

Um das Phänomen, mit dem wir uns beschäftigen, in seiner ganzen Schönheit zu beobachten, muſs man anfangs der Handhabe eine sehr geringe Geschwindigkeit geben, etwa einen Umgang in 5 bis 6 Secunden. Die Wirkungen sind dann schon sehr hervortretend. Wendet man dann eine gröſsere Geschwindigkeit an, etwa einen Umlauf in 4 Secunden, so werden die Abplattung an den Polen und das Aufschwellen am Aequator bedeutender, und noch mehr steigern sich beide, wenn man die Geschwindigkeit der Handhabe bis zu einem Umlauf in 3 Secunden erhöht. Ehe wir weiter gehen, wollen wir bemerken, daſs man bei diesen Versuchen die Drehung der Handhabe nicht zu lange fortsetzen darf, weil die Oelmasse, welche in den ersten Momenten genau eine

Digitized by Google

Rotationsfigur zeigt, zuletzt diese Gestalt verliert. Man muſs also bei jedem neuen Versuch das System zur Ruhe kommen lassen. Das Oel nimmt dann seine Kugelgestalt wieder an und stellt sich langsam wieder in die gehörige Lage. Die Entstaltungen, welche eintreten, wenn man die Scheibe zu lange dreht, geben zu eigenthümlichen Erscheinungen Anlaſs, die nicht ohne Interesse sind. Ich werde weiterhin (§. 22) von ihnen sprechen.

11. Wenn man nun, statt die Handhabe langsam zu drehen, ihr eine beträchtliche Geschwindigkeit giebt, z. B. 2 bis 3 Umläufe in der Secunde, so treten neue und recht sonderbare Phänomene auf. Die flüssige Kugel nimmt anfangs rasch das Maximum ihrer Abplattung an, dann wird sie, rings um die Axe, von unten und oben hohl, und dehnt sich dabei immer mehr in horizontaler Richtung aus; endlich verläſst sie die Scheibe und *verwandelt sich in einen vollkommen regelmäſsigen Ring* (Fig. 13, Taf. II).

Dieser Ring ist seiner Dicke nach abgerundet und scheint einen Kreis zur erzeugenden Fläche zu haben. Im Moment seiner Bildung vergröſsert er rasch seinen Durchmesser bis zu einer gewissen Gränze; sobald er diese erreicht hat, muſs man mit dem Drehen der Scheibe einhalten. Der Ring erhält sich dann einige Secunden in demselben Zustand; dann schwächt der Widerstand der umgebenden Flüssigkeit seine Rotationsbewegung, er kehrt zu sich selbst zurück und verwandelt sich abermals in eine Kugel rings um die Scheibe und ihre Axe.

Die zweckmäſsigste Geschwindigkeit der Handhabe zur Hervorbringung eines schönen Ringes ist ungefähr drei Umläufe in der Secunde. Der damit erhaltene Ring hat einen mittleren Durchmesser von 9 bis 10 Centimetern.

12. Sobald im Augenblick der Bildung des Ringes die Oelmasse, aus der er besteht, sich von der Scheibe entfernt, bemerkt man einen recht sonderbaren Umstand.

Digitized by Google

Der Ring bleibt vereinigt mit der Scheibe durch ein äuſserst dünnes Oelhäutchen, welches den ganzen Raum zwischen beiden einnimmt. Allein im Augenblick, wo man, da der Ring seine gröſste Entwicklung erreicht hat, mit dem Drehen der Scheibe aufhört, zerreiſst und verschwindet dieſs Häutchen von selbst, und der Ring bleibt von nun an vollkommen abgetrennt.

Begreiflicherweise ist dieſs Häutchen kein wesentlicher Umstand für das Phänomen der Ringbildung, und wir werden in einem anderen Theil dieser Abhandlung sehen, daſs es wahrscheinlich einer ganz anderen Ordnung von Thatsachen angehört.

13. Der Himmel zeigt uns einen Körper von analoger Form wie unser flüssiger Ring: ich meine den Ring des Saturns. Zwar ist dieser abgeplattet, während unser, seiner Dicke nach, ganz gerundet ist; allein ich glaube nicht, daſs diese Verschiedenheit so groſs sey als sie anfänglich erscheint.

Die Schwungkraft nämlich, die von dem innern Umfang des Oelringes bis zu seinem äuſsern zunimmt, muſs nothwendig dahin streben, diesen Ring im Sinne seiner Breite auszuziehen, oder, anders gesagt, abzuplatten. Aber diese Abplattung kann nur sehr unbedeutend seyn; denn wegen der geringen Dimensionen des Ringes und der langsamen Winkelbewegung muſs die Art von Zug, welcher aus der Verschiedenheit der Schwungkraft entspringt, sehr gering seyn in Vergleich zu den Kräften der Molecular-Attraction.

14. Wir können also, scheint mir, füglich annehmen, daſs unser Oelring wirklich ein wenig abgeplattet sey, und daſs er folglich, was die allgemeine Form betrifft, sich nur durch einen geringeren Grad der Abplattung vom Saturnsring unterscheide [1]). Ueberdieſs ist in dem

1) Ich sehe hier ab von der Theilung des Saturnringes. Diese Unterabtheilung ist bekanntlich nicht wesentlich verknüpft mit den Bedingungen zum Gleichgewicht des Ringes.

System des Saturns die Abplattung des Ringes zum Theil bedingt durch die Anziehung des centralen Planeten. Nun ist der Oelring im ersten Moment seiner Bildung einer eigenthümlichen Kraft unterworfen, die eine ähnliche Rolle spielt wie die eben erwähnte Anziehung. Diese Anziehung wirkt nämlich mit gröſster Intensität auf den inneren Umfang des Saturnringes, und nimmt von da nach dem Rest dieses Körpers rasch ab. Nun haben wir gesehen, daſs der Oelring im ersten Moment seiner Bildung durch ein dünnes Oelhäutchen mit der Scheibe verknüpft bleibt (§. 12), und man kann sich überzeugen, daſs dieſs Häutchen auf den innern Umfang des Ringes eine ziemlich beträchtliche Zugkraft ausübt. Denn wenn man mit dem Drehen der Scheibe etwas zu früh einhält, d. h. ein wenig früher als der Ring das Maximum seines Durchmessers erreicht, reiſst das Oelhäutchen nicht, und der Ring kehrt in sich selbst mit viel gröſserer Geschwindigkeit zurück, als wenn das Häutchen schon gerissen und der Ring isolirt ist. Der Zug, welchen das Oelhäutchen auf den inneren Umfang des Ringes ausübt, muſs also einen analogen Effect hervorbringen wie die Anziehung des Saturns, d. h. muſs zur Vergröſserung der Abplattung beitragen. Und wirklich zeigt der Oelring vor dem Reiſsen des Häutchens eine sehr ausgesprochene Abplattung. Um sie vollständig zu erhalten, muſs man dafür sorgen, daſs die Kugel, vor Beginn des Versuchs, wohl centrirt sey in Bezug auf die Scheibe, und es ist vortheilhaft der Scheibe eine etwas geringere Geschwindigkeit zu geben als im §. 11 angegeben worden; die zweckmäſsigste scheint mir etwa zwei Umläufe in der Secunde zu seyn. Sobald das Oelhäutchen reiſst, verschwindet die Abplattung und der erzeugende Querschnitt wird, wie wir gesehen, beinahe kreisrund [1]).

1) Ich hatte es für möglich gehalten, isolirte und bedeutend abgeplattete Ringe zu bekommen, wenn man mit beträchtlicheren Oelmassen operirte; denn da alsdann der Ring ein groſses Volum hat, muſs der

Digitized by Google

15. Die Mathematiker, welche mit der Gleichgewichtsfigur einer rotirenden flüssigen Masse beschäftigt gewesen sind, haben nur den Fall betrachtet, wo die Anziehung, welche der Schwungkraft entgegenwirkt, die allgemeine Gravitation ist, und sie haben bewiesen, daſs dann ellipsoidische Figuren diesem Gleichgewicht Genüge leisten. Darf man aber daraus schlieſsen, daſs die durch die Rotation unserer Oelmassen hervorgerufene Ringform aus dem davon verschiedenen Gesetze der Molecular-Attraction entspringe (§. 10), und daſs bei den Himmelskörpern die Gestalt eines isolirten Ringes nicht allein aus der Combination der Centrifugalkraft mit den gegenseitigen Anziehungen der verschiedenen Theile der Masse

Einfluſs der Molecular-Attraction geringer seyn. Allein ich fand, daſs man, um mit groſsen Massen einen regelmäſsigen Ring zu erhalten, eine schwächere Rotationsgeschwindigkeit anwenden muſste, so daſs also, wenn der Einfluſs der Molecular-Attraction vermindert war, die Centrifugalkraft es gleichfalls seyn muſste. Die Abplattung wurde also nicht beträchtlicher, oder wenn ich dieſs bisweilen zu beobachten glaubte, konnte ich es nicht nach Belieben hervorbringen. Ich operirte solchergestalt successiv mit Kugeln von 10, 11, 12 und 14 Centimetern Durchmesser und mit Scheiben von 7 bis 9 Centimetern Durchmesser, in einem Gefäſse mit ebenen Wänden, dessen quadratischer Boden 33 Centim. in Seite, und dessen Höhe 25 Centim. betrug. Uebrigens sind die Effecte, die man erlangt, sehr schön; die Ringe sind vortrefflich, haben einen bedeutenden Durchmesser und halten sich bisweilen 8 bis 10 Secunden, ehe sie in sich zurückflieſsen. Mit einer Kugel von 10 Centim. Durchmesser, einer Scheibe von 7, und einer Geschwindigkeit von einem Umlauf in etwas mehr als einer Secunde, erhält man sehr schön und deutlich die aus dem Zug des Oelhäutchens entspringende Abplattung. Allein diese Versuche sind, wegen Gröſse der Gefäſse und Masse der erforderlichen Flüssigkeit, sehr unbequem und schwierig.

Man begreift übrigens, weshalb eine beträchtlichere Oelmasse zur Bildung eines regelmäſsigen Ringes eine geringere Rotationsgeschwindigkeit erfordert, nämlich deshalb, weil die Molecular-Attraction weniger Einfluſs hat, woraus folgt, daſs wenn man dieselbe Rotationsgeschwindigkeit, welche mit einer geringeren Oelmenge einen schönen Ring gäbe, anwenden wollte, die Masse sich trennen und in Tröpfchen zerstreuen würde.

Digitized by Google

entstehen könne? Ich glaube es nicht, halte es vielmehr für sehr wahrscheinlich, daſs wenn der Calcül dieſs groſse Problem zu lösen verstände und direct alle möglichen Gleichgewichtsfiguren bestimmen könnte, die Ringform darin begriffen seyn würde. Da diese allgemeine und directe Lösung sehr groſse Schwierigkeiten darbietet, so haben die Mathematiker sich begnügt zu versuchen, ob ellipsoidische Figuren dem Gleichgewicht genügen, und zu beweisen, daſs sie in der That genügen; allein sie lassen im Zweifel, ob andere Figuren dieselben Bedingungen erfüllen würden. Zwar scheint Hr. Liouville in seinen letzten Untersuchungen über diesen Gegenstand auf den ersten Blick die Aufgabe beinahe gelöst zu haben, indem er die Betrachtung der Stabilität der Gleichgewichtsfigur einführt, und indem er zeigt, daſs für jeden Werth des Rotationsmoments, oder anders gesagt, für irgend eine Anfangsbewegung der Masse, es immer eine ellipsoidische Figur giebt, sey es ein Umdrehungsellipsoid oder ein dreiaxiges Ellipsoid, welche eine stabile Gleichgewichtsfigur darbietet. In der That scheint er natürlich anzunehmen, daſs es, für eine gegebene Erschütterung einer flüssigen Masse, nur einen einzigen zulässigen Endzustand gebe, und in diesem Fall muſs dieser Zustand nothwendig ein stabiler seyn. Indeſs glaube ich nicht, daſs der Schluſs, den man aus diesen Resultaten ziehen kann, so allgemein sey, als er auf den ersten Blick erscheint. Ohne Zweifel giebt es für eine gegebene ursprüngliche Erschütterung nur einen einzigen möglichen Endzustand, und dieser muſs stabil seyn; allein die Bedingung zur Stabilität einer gefundenen Gleichgewichtsfigur führt nicht nothwendig die Folgerung mit sich, daſs diese Figur den in Rede stehenden Endzustand constituire; denn es könnte wohl seyn, daſs mehre, einer und derselben ursprünglichen Erschütterung entsprechende Gleichgewichtsfiguren ebenfalls stabil wären, und daſs die Wahl der Masse für eine dieser Figuren durch andere

Digitized by Google

Umstände bedingt würde, z. B. durch die Modificationen, die ihre Bewegung in den ersten Momenten der Rotation erleidet. Durch Prüfung dieser Modificationen, auf welche die Aufmerksamkeit der Mathematiker nicht gerichtet war, will ich versuchen die Entstehungsweise der ringförmigen Gestalten zu entwickeln.

16. Wenn eine Masse anfängt, um sich selbst zu rotiren, so ist nothwendig die Winkelgeschwindigkeit der Portionen, die, von der Centrifugalkraft fortgeführt, sich von der Axe entfernen, eine abnehmende. Diese Abnahme ist besonders am Aequator der Masse ausgesprochen, und sie ist desto beträchtlicher als die anfängliche Rotationsbewegung rascher ist. Daraus folgt, daſs in den ersten Zeiten einer hinreichend raschen Rotation, ein groſser Unterschied in der Winkelgeschwindigkeit zwischen den der Axe benachbarten und den dem Aequator nahen Portionen vorhanden seyn wird. Wenn man indeſs für einen Moment annimmt, daſs vermöge der Adhärenz der Flüssigkeit zu sich selbst und der Reibung ihrer verschiedenen Theile, die am schnellsten rotirenden Portionen einen Theil ihrer Geschwindigkeit nach und nach den andern mittheilen, so daſs daraus zuletzt eine mittlere, demselben Rotationsmoment entsprechende und in allen Punkten der Masse gleiche Winkelgeschwindigkeit entspringt, so wird die Masse eine ellipsoidische Gestalt annehmen können. Allein ehe die schwachen Kräfte, von denen wir eben sprechen, dieſs mittlere Resultat herbeiführen können, wird nothwendig eine andere Ordnung von Erscheinungen auftreten müssen, welche die Entwicklung der ellipsoidischen Figur verhindert und die Entstehung einer ringförmigen veranlaſst [1]).

In der That folgt nothwendig aus den vorstehenden Betrachtungen, daſs in den ersten Zeiten einer hinreichend

1) Hrn. Liouville's Abhandlung wurde der Pariser Academie am 13. Febr. 1843 mitgetheilt. Ein Auszug davon findet sich im *L'Institut No.* 477.

Digitized by Google

raschen Rotation die Schwungkraft am Aequator der Masse weit geringer seyn muſs als die, welche der obigen mittleren Geschwindigkeit entspräche, und daſs dagegen die Schwungkraft der der Axe benachbarten Portionen weit gröſser seyn wird, als die, welche derselben mittleren Geschwindigkeit zukäme. Die Flüssigkeit in der Nähe der Axe wird also gegen die Flüssigkeit des Aequators getrieben, und daraus entspringt nothwendig die Bildung einer Art von mehr oder weniger hervortretendem Wulste. Mit anderen Worten, die Masse wird sich bald in ihrer Mitte aushöhlen und ringsherum anschwellen. Sobald aber diese Erscheinung eintritt, begreift man, daſs die Anziehung dieses Wulstes auf die rings um die Axe gebliebene Masse sich der Wirkung der Schwungkraft hinzufügen und zur Volumsvergröſserung des Wulstes auf Kosten der Flüssigkeit in der Mitte beitragen muſs. Dieſs kann denn offenbar den Erfolg haben, daſs alle Flüssigkeit die Axe verläſst und sich zum Wulste begiebt, der dann auf diese Weise ein wahrer Ring wird.

Diese Entstehung der Ringgestalten wäre unabhängig von dem Gesetze, welches die Attraction befolgt, wäre folglich dieselbe bei der allgemeinen Gravitation und bei der Molecular-Attraction.

17. Es ist leicht, diese Entstehungsweise an unserer Oelmasse nachzuweisen, oder wenigstens sich zu versichern, daſs während der Bildung des Wulstes und des Ringes die Winkelgeschwindigkeit am Aequator der Masse weit kleiner ist als gegen die Axe. Zu dem Ende bemerke ich zuvor, daſs wenn eine und dieselbe Oelmasse zu einer groſsen Zahl von Versuchen gedient hat, und sie mehrmals zertheilt und wieder zu Einer Kugel oder Einem Ringe vereinigt worden ist, sie immer in ihrem Innern eine Menge von Bläschen der alkoholischen Flüssigkeit einschlieſst, welche von dem sie umgebenden Oele fortgerissen werden und die Bewegungen der verschiedenen Punkte der Masse vollkommen beobachtbar machen.

Digitized by Google

Wenn man nun die beschriebenen Versuche mit einer solchen, mit alkoholischen Bläschen erfüllten Oelmasse anstellt, beobachtet man Folgendes: So lange man der Scheibe nur schwache Geschwindigkeiten ertheilt, um eine bloſse Abplattung hervorzurufen, herrscht in der Winkelgeschwindigkeit kein groſser Unterschied zwischen den der Axe und den dem Aequator nahen Portionen; allein dieser Unterschied wird sehr beträchtlich, sobald man die Scheibe rascher dreht und Wulst und Ring sich entfalten.

Mittelst der alkoholischen Blasen kann man auch nachweisen, daſs in dem einmal gebildeten Ringe sich die mittlere Winkelgeschwindigkeit eingestellt hat, mithin alle Punkte desselben alsdann ihre Umläufe in gleicher Zeit vollenden.

Uebrigens giebt es bei unseren Versuchen mit den Oelmassen zwei fremdartige Kräfte, welche den schon bezeichneten Ursachen hinzutreten, um die Entwicklung des Wulstes und des Ringes zu erleichtern. Die eine ist der Widerstand der umgebenden Flüssigkeit, welche zur Schwächung der Winkelgeschwindigkeit am Aequator der Masse beiträgt; die andere ist die Wirkung der Hand, welche die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe unterhält und mithin die centralen Theile der Masse verhindert allmälig an der Verlangsamung der aequatorialen Portionen Theil zu nehmen. Was indeſs diese beiden fremden Kräfte bewirken, das würde, wenn man sie annulliren könnte, eine gröſsere Anfangsgeschwindigkeit ebenfalls ausrichten.

18. Wenn man sich begnügt, durch eine mäſsige Geschwindigkeit der Scheibe bloſs eine Abplattung der Masse hervorzubringen, so wird diese durch die beiden eben erwähnten fremdartigen Kräfte nothwendig verhindert, in allen ihren Punkten eine gleiche Winkelgeschwindigkeit anzunehmen, selbst wenn man mit dem Drehen der Scheibe fortfährt. Daraus folgt, daſs die Masse nicht genau die Gestalt annehmen kann, welche dieser Gleichheit in der

Digitized by Google

Winkelgeschwindigkeit entsprechen würde. Die, welche sie annimmt, ist eine Umdrehungsgestalt, allein wenn man das Auge in die Höhe des Mittelpunkts der Masse bringt, erkennt man leicht, daſs es kein Ellipsoid ist: die Krümmung am Aequator ist zu groſs, und dieſs bemerkt man desto mehr, je bedeutender die Abplattung ist.

Ist nun dieser Unterschied zwischen der so erzeugten Figur und der, welcher der allgemeinen Gravitation entsprechen würde, alleinig das Resultat der Wirkung der beiden erwähnten fremdartigen Kräfte, oder hat er vielmehr die Verschiedenheit der Gesetze beider Attractionen zur Ursache? Mit anderen Worten, wenn man die Unterschiede in der Winkelgeschwindigkeit der verschiedenen Portionen der Oelmasse eliminiren oder unmerklich machen könnte, würde die entstehende Figur ein Ellipsoid seyn oder nicht? Unmerklich würde man diese Unterschiede in der Winkelgeschwindigkeit machen, wenn man einer Oelmasse, die ohne inneres System isolirt in der alkoholischen Flüssigkeit schwebte, eine Rotationsbewegung einprägen und sie dann sich selbst überlassen könnte. Zwar würde dann der Widerstand der umgebenden Flüssigkeit von auſsen auf die Masse einwirken; allein da nichts die Constanz der Geschwindigkeit der centralen Theile unterhält, so werden diese, vermöge der starken Adhärenz des Oels zu sich selbst, sogleich theilnehmen an der Verlangsamung der äuſsern Portionen, und man würde die Masse, als in jedem Augenblick überall eine gleiche Winkelgeschwindigkeit besitzend, ansehen können.

Nun ist es leicht das Vorhergehende zu verwirklichen, wenn man die Thatsache benutzt, daſs der Oelring einige Zeit nach seiner Bildung in sich zurückflieſst (§. 11). Im Augenblick, da der Ring fertig ist und man die Scheibe anhält, ziehe man diese mittelst des Metallstöpsels, der ihre Axe trägt, vorsichtig in die Höhe. Die Oelmasse, die sich durch Zusammenflieſsen des Ringes gebildet hat, fährt dann fort noch einige Zeit zu rotiren, vollkommen iso-

Digitized by Google

isolirt in der umgebenden Flüssigkeit. Ihre Gestalt ist nun, so weit es das Auge beurtheilen kann, ein vollkommenes Umdrehungs-Ellipsoid, welches sich allmälig der Kugel nähert, in dem Maaſse als die Rotationsbewegung schwächer wird [1]).

1) Ich hatte geglaubt, eine isolirt rotirende Masse auf eine andere Weise erhalten zu können, nämlich dadurch, daſs ich mitten in einer cylindrischen, um ihre Axe drehbaren Flasche eine Oelkugel bildete, dann diese Flasche rasch drehte, so lange bis sämmtliche Flüssigkeit darin, die Alkoholmischung und die Oelmasse, die nämliche Bewegung angenommen hatte, und nun die Flasche plötzlich anhielt. In der That scheint es, daſs dann, da die alkoholische Flüssigkeit durch Reibung an den stillstehenden Wänden der Flasche zuerst ihre Bewegung verliert, ein Moment eintreten müsse, wo die Oelmasse noch einen Ueberschuſs von Winkelgeschwindigkeit über die umgebende Flüssigkeit behält, und daſs nun die Wirkungen der Schwungkraft auf diese Masse sich äuſsern können. Allein der Versuch giebt kein rechtes Resultat. Zuvörderst ist es äuſserst schwierig, eine Oelmasse in der Mitte der Flasche zu halten. Man hält sie wohl leidlich in der Axe derselben, weil, wenn es gelungen ist sie mit ihrem Mittelpunkt ziemlich nahe dieser Axe zu bringen, die Rotation der umgebenden Flüssigkeit sie vollends dahin bringt und alsdann ziemlich gut darin erhält. Aber dem ist nicht so in Richtung der Höhe der Flasche. Bedient man sich eines homogenen alkoholischen Gemisches, und befindet sich die Oelkugel, ehe man die Flasche dreht, etwas über oder unter der Mitte dieser, so verläſst sie ihren Platz beim Drehen der Flasche, um, im ersten Fall, zu steigen, oder, im zweiten, zu sinken, bis sie gegen eine der Grundflächen der Flasche zerstiebt. Diese Erscheinung, glaube ich, rührt davon her, daſs die beiden Grundflächen auf die sie berührenden Schichten eine bewegende Kraft ausüben, die gröſser ist als die, welcher die parallelen Schichten im Innern der Masse ausgesetzt sind, und daſs daraus an diesen Grundflächen zu Anfang der Rotation ein Ueberschuſs von Schwungkraft entsteht, welcher die der Axe benachbarte Flüssigkeit nach oben und nach unten zieht. Man muſs also suchen, die Oelkugel in eine der Mitte der Höhe der Flasche sehr nahe Lage zu bringen. Unglücklicherweise kann man dazu nicht das Mittel der Superposition alkoholischer Schichten von ungleicher Dichte anwenden (§. 9); denn dann würden, bei Rotation der Flasche, die unteren dichteren Schichten nothwendig durch den Ueberschuſs an Schwungkraft, der aus ihrem Dichtigkeitsüberschuſs entspringt, sich gegen die Wände erheben, und die weniger dichten Schichten zwingen sich in

Mithin scheint die Verschiedenheit der Gesetze, welche beide Attractionen befolgen, keinen Einfluſs zu haben auf die Natur der Gestalt, welche die um sich selbst rotirende Masse annimmt.

die Axe zu begeben; und bei dieser Bewegung würde die Oelmasse nach unten gezogen werden, und ebenfalls an dem Boden der Flasche zerstieben.

Bei Anwendung eines homogenen Alkoholgemisches und einer Oelkugel, die nur etwa 3 Centim. im Durchmesser hatte, ist es mir mehrmals geglückt, dieser Oelkugel eine ziemlich richtige Lage in der Flasche zu geben, um sie in gleicher Höhe zu halten, bis sie von selbst die Rotationsbewegung des ganzen Systems angenommen hatte. Allein wenn ich dann die Flasche anhielt, entstand im Innern eine heftige Bewegung, die fast immer das Oel in unzählige Kügelchen durch die ganze alkoholische Flüssigkeit zerstreute, oder wenigstens die Gestalt desselben vollkommen unregelmäſsig machte. Dieses schreibe ich folgender Ursache zu. Sobald man die Flasche anhält, verlieren diejenigen Portionen der Flüssigkeit, welche die Wände und Grundflächen berühren, vorerst ihre Schwungkraft; die mehr innerlichen Portionen, welche ihre Schwungkraft noch bewahren, machen sich Luft durch die erstere, zertheilen sie, und diese Verwirrung pflanzt sich fort bis zur Axe, wo sie zu einer Zerstiebung oder unregelmäſsigen Entstaltung der Oelmasse Anlaſs giebt.

In den Fällen, wo ich der Oelkugel eine passende Lage geben konnte, bemerkte ich eine recht sonderbare Erscheinung, nämlich die, daſs die Oelmasse in den ersten Zeiten der Rotation des Gefäſses die sphärische Gestalt verlieſs, um sich in Richtung der Rotationsaxe zu verlängern. Diese Verlängerung erklärt sich folgendermaſsen: Die Rotationsbewegung verpflanzt sich auf die der Axe nahen Portionen des Gemisches über und unter der Oelmasse, bevor sie sich dieser in gleicher Stärke mittheilen kann; daraus muſs dann in den verschiedenen Punkten dieser Masse eine geringere Schwungkraft entstehen als in den in gleichem Abstand von der Rotationsaxe gelegenen Punkten des alkoholischen Gemisches. Dieses bewirkt einen Zug im Oel längs der Axe und eine Verlängerung der Masse im Sinne dieser Axe. Wenn man aber die Rotation fortsetzt, bekommt das Oel zuletzt dieselbe Bewegung wie die umgebende Flüssigkeit und nimmt auch nach und nach die Kugelgestalt wieder an.

Indem ich die Flasche nicht plötzlich, sondern nur etwas rasch anhielt, ist es mir einmal gelungen, ein ziemlich regelmäſsiges Resultat zu erhalten, und ich habe gesehen, was ich erwartete: eine beträchtliche Abplattung der Kugel in Richtung der Rotationsaxe.

Digitized by Google

19. Eine flüſsige Masse kann nur unter dem Einfluſs einer hinlänglichen Schwungkraft eine Ringgestalt annehmen und bewahren. Auch wenn der Widerstand der alkoholischen Flüſsigkeit, wie wir gesehen, die Rotationsgeschwindigkeit des Oelringes über eine gewisse Gränze hinaus verringert hat, flieſst dieser, der überwiegenden Molecular-Attraction gehorchend, in sich zusammen und bildet wiederum eine einzige Masse, anfangs eine ellipsoïdische, dann kugelförmige. Wenn man aber durch ein Mittel, welches ich angeben werde, den Ring am Zusammenflieſsen hindert und dabei seine Schwungkraft sich verringern läſst, so sieht man andere recht interessante Erscheinungen auftreten. Um sie in Vollkommenheit zu erzeugen, muſs man statt der Scheibe von 35 Millimeter, eine von etwa 5 Centimeter Durchmesser nehmen [1]), was zur guten Bildung des Ringes nöthig macht, eine kleinere Rotationsgeschwindigkeit als mit der früheren Scheibe anzuwenden (die passendste schien etwas geringer als die von zwei Umläufen in der Secunde zu seyn). Man muſs nun, statt im Moment der gröſsten Ausbildung des Ringes mit der Drehung der Scheibe einzuhalten, dieselbe vielmehr fortsetzen. Dann reiſst nach einiger Zeit das Oelhäutchen, wie wenn man die Scheibe angehalten hätte; allein da letztere fortfährt, sich in der alkoholischen Flüſsigkeit zu drehen, so nehmen die mit ihr in Berührung stehenden Portionen dieser Flüſsigkeit selber eine Rotationsbewegung an und werden durch die daraus entspringende Schwungkraft fortwährend gegen den Ring getrieben, so daſs dieser nicht zusammenflieſsen kann. Unter diesen Umständen sieht man aber bald den Ring seine Regelmäſsigkeit verlieren und darauf sich in mehre vereinzelte Massen zertheilen, deren jede auch eine Ku-

1) Diese Vertauschung geschieht, indem man die Axe der ersten Scheibe oben von dem dicken, durch den Metallstöpsel gehenden Eisendraht ablöst (§. 8) und an seiner Statt die Axe der neuen Scheibe anschraubt.

Digitized by Google

gelgestalt annimmt. Wenn also der Ring, wegen Abnahme der Schwungkraft, seine Gestalt nicht mehr bewahren kann, und ein Hinderniſs sich dem Zusammenflieſsen in eine einzige Kugel widersetzt, so löst er sich in mehre einzelne Kugeln auf. Sobald diese Zerfällung eintritt, muſs man mit dem Drehen der Scheibe aufhören.

Dieſs ist noch nicht Alles: Fast immer sieht man dann eine oder mehre dieser Kugeln im Augenblick ihrer Bildung eine Rotationsbewegung um sich selbst annehmen, und zwar beständig in demselben Sinn wie die des Ringes. Da überdieſs der Ring im Augenblick seines Zerreiſsens noch einen Rest von Geschwindigkeit besaſs, so suchen die Kugeln, zu denen er Anlaſs gab, in Richtung der Tangente zu entweichen; allein da andrerseits die Scheibe, bei ihrer Rotation in der alkoholischen Flüssigkeit, dieser auch eine Rotationsbewegung mitgetheilt hat, so werden die Kugeln besonders von letzterer Bewegung fortgerissen und kreisen demnach einige Zeit um die Scheibe. Diejenigen, welche sich zu gleicher Zeit um sich selbst drehen, zeigen dann das sonderbare Schauspiel von Planeten, die zugleich um sich und in ihrer Bahn rotiren. Die Rotationsbewegung dieser Massen ist übrigens gegen den Durchmesser derselben zu langsam, um eine merkliche Abplattung zu veranlassen.

Noch ein anderer recht sonderbarer Vorgang zeigt sich hiebei: auſser drei oder vier groſsen Kugeln, in die der Ring zerfällt, entstehen fast immer eine oder zwei sehr kleine, gleichsam Satelliten.

Der eben beschriebene Versuch giebt also, wie man sieht, im Kleinen ein Bild von der Entstehung der Planeten, nach Laplace's Hypothese, aus dem Zerfallen kosmischer, von Condensation der Sonnenatmosphäre herstammender Ringe.

20. Bringt man Oel in ein Gemisch, welches einen kleinen Ueberschuſs an Alkohol enthält, so kann man eine Erscheinung beobachten, die mit der der Auflösung

Digitized by Google

eines Ringes in einzelne Kugeln in Beziehung steht. Gieſst man das Oel etwas rasch hinein, so bildet es einen langen cylindrischen Schweif, von der Spitze des Trichters an bis zum Boden des Gefäſses, wo die Masse sich ansammelt. Diese Art von Schweif, der die Oelmasse mit der Trichterspitze verknüpft, hält sich so lange als das Oel, aus dem er besteht, eine hinreichend rasche Fortschreitungsbewegung hat, d. h. so lange man zu gieſsen fortfährt. So wie man aber damit aufhört und die fortschreitende Bewegung sich verlangsamt, löst sich der Oelschweif augenblicklich in vereinzelte Kügelchen auf.

21. Die Bildung eines Ringes, ähnlich dem des Saturns, flöſst natürlich den Wunsch ein, die Aehnlichkeit mit dem System dieses Planeten weiter zu treiben und zu sehen, ob durch irgend eine Abänderung unseres Versuchs es möglich zu machen sey, daſs eine Oelkugel mitten in dem Ringe bleibe. Wirklich ist mir dieſs gelungen mittelst eines Verfahrens, das ich beschreiben will. Nur darf man in diesem Versuch nichts als eine wissenschaftliche Spielerei erblicken; denn die Umstände, welche das Resultat bedingen, haben offenbar keine Aehnlichkeit mit denen, welche die Configuration des Saturnsystems herbeiführen mochten.

Zuvörderst muſs man der Scheibe eine beträchtliche Rotationsgeschwindigkeit geben. Zu dem Ende befestigt man oben am Gefäſs ein System von zwei Rollen, eine kleine auf der Verlängerung der Axe, statt der Handhabe, die man fortnimmt, und eine groſse, deren Axe diese Handhabe aufnimmt. An meinem Apparat sind die Durchmesser der beiden Rollen respective 12 und 75 Millimeter. Zweitens darf der Durchmesser der Scheibe nur 2 Centimeter betragen, da der der Kugel immer fast 6 Centimeter ist. Endlich darf nicht, wie bei den früheren Versuchen, der Mittelpunkt der Scheibe mit dem der Kugel zusammenfallen; er muſs niedriger als dieser liegen.

Digitized by Google

Nach diesen Vorrichtungen dreht man die Handhabe mit einer Geschwindigkeit, welche zu finden die Erfahrung bald lehrt. Bei meinem Apparat muſste diese Geschwindigkeit ungefähr drittehalb Umläufe in der Secunde betragen, was beinahe 15 Umläufe der Scheibe in derselben Zeit ausmacht. Dann sieht man im Allgemeinen sich rasch einen Ring bilden, welcher sich ausdehnt und dabei in seiner Mitte eine Oelmasse zurückläſst, mit der er durch ein dünnes Häutchen verbunden bleibt. Im Augenblick, da der Ring sich hinreichend entwickelt hat, einen Augenblick, den die Uebung allein recht beurtheilen lehren kann, hört man rasch mit dem Drehen auf. Alsdann reiſst das Häutchen, der Ring bleibt vollständig isolirt und die centrale Masse bildet sich zur Kugel. Man hat demnach auf einige Augenblicke das sonderbare Schauspiel des Saturnsystems, bis auf die Abplattung des Ringes. Hierauf flieſst der Ring wieder zusammen und vereinigt sich wieder mit der centralen Masse. Dieser Versuch hat keine groſse Schwierigkeiten, erfordert aber, wenn er gelingen soll, einige Uebung.

22. Bei Beschreibung des Versuchs (§. 10), worin durch unmittelbare Wirkung der Scheibe eine Abplattung der Kugel bewirkt ward, machte ich die Bemerkung, daſs man mit dem Drehen der Scheibe nicht zu lange fortfahren dürfe, weil sonst die Oelmasse sich zuletzt entstalte. Fährt man indeſs mit dem Drehen der Handhabe fort, um die Resultate dieser Entstaltung zu beobachten, so sieht man nun sehr wunderliche Erscheinungen auftreten.

Ist die Kugel wohl centrirt in Bezug auf die Scheibe und man giebt letzterer eine Geschwindigkeit von sechs, fünf oder vier Umgängen in der Secunde, so sieht man zunächst, nach sieben bis acht Umgängen, die Oelmasse sich in einer Richtung horizontal ausdehnen, so daſs sie eine Form annimmt, die sich sehr einem dreiaxigen Ellipsoïd nähert; und, was noch sonderbarer ist, diese Art

Digitized by Google

Ellipsoïd liegt excentrisch gegen die Rotationsaxe. Die Fig. 14, Taf. II zeigt, für eine Geschwindigkeit von einem Umgange in vier Secunden, die Masse gesehen von drei Seiten, nämlich von oben und in Richtung der kleinsten und gröſsten horizontalen Axe. Die punktirten Striche deuten die Lage der Scheibe und der Rotationsaxe an. Die Ansicht von oben zeigt, daſs die Masse in einem Sinne schwach gekrümmt ist, offenbar in Folge des Widerstands der umgebenden Flüssigkeit.

Hat einmal die Masse diese Gestalt angenommen, so bewahrt sie dieselbe unausgesetzt so lange die Bewegung der Scheibe dauert; sie fährt fort sich um letztere excentrisch zu drehen, und zwar mit einer geringeren Geschwindigkeit als diese besitzt. Offenbar entspringt auch diese geringere Geschwindigkeit aus dem Widerstand der umgebenden Flüssigkeit.

Giebt man der Scheibe eine gröſsere Geschwindigkeit, ohne jedoch eine gewisse Gränze zu überschreiten, läſst man sie z. B. einen Umgang in drei Secunden machen, so sind die Erscheinungen noch von gleicher Art, aber die Masse ist verlängerter, die vom Widerstande der umgebenden Flüssigkeit herrührende Biegung ist stärker, und die Abweichung der Gestalt von einem Ellipsoïd stärker. Fig. 15, Taf. II zeigt die Gestalt gesehen von der Seite und in ihrer gröſsten Länge.

Treibt man die Geschwindigkeit der Scheibe bis zu einem Umlauf in zwei Secunden, so werden die Erscheinungen weniger constant und weniger regelmäſsig. Man könnte sagen, bei dieser Geschwindigkeit ginge eine Ordnung von Erscheinungen in eine andere über, und die Masse schwanke zwischen beiden.

In der That beginnen die Erscheinungen bei einer noch etwas gröſseren Geschwindigkeit, nämlich bei etwa einem Umgang in anderthalb Secunden, regelmäſsig und constant zu werden, aber sie sind verschieden von den früheren. Sie zeigen sich in ihrer ganzen Schönheit, wenn

Digitized by Google

man die Geschwindigkeit auf einen Umgang in der Secunde bringt. Dann höhlt sich anfangs die Masse rings um die Axe stark aus, wie wenn sich ein Ring bilden wollte, und diese Gestalt eines ringförmigen Wulstes behält sie während 16 bis 18 Umgängen der Scheibe. Darauf sieht man sie in einem horizontalen Durchmesser allmälig länger werden, aber nicht mehr excentrisch, so daſs sie, von oben gesehen, eine zuweilen sehr vollkommene elliptische Gestalt zeigt, deren Mittelpunkt die Scheibe einnimmt (Fig. 16, Taf. II). Hierauf verlängert sich diese Ellipse mehr und mehr mit ziemlicher Schnelligkeit, und beginnt durch den Widerstand der umgebenden Flüssigkeit sich zu biegen (Fig. 17); endlich, mit einem Male, krümmt sich die Masse stark an beiden Seiten, und zeigt, von oben, die Fig. 18. Diese letztere Gestalt behält die Masse hierauf unausgesetzt so lange die Bewegung der Scheibe dauert.

23. Wie wunderlich diese Phänomene auch erscheinen mögen, so hat doch der Zufall keinen Antheil an denselben. Ich habe die obigen Versuche sehr oft wiederholt und die Effecte waren für dieselben Geschwindigkeiten immer identisch dieselben.

Nachdem man die stabilen Gestalten gesehen, welche die Massen unter diesen Umständen annehmen, kann man sich nicht enthalten eine Vergleichung anzustellen zwischen ihnen und den dreiaxigen Ellipsoïden der HH. Jacobi und Liouville, die immer, wie es der letzte dieser beiden Mathematiker bewiesen hat, stabile Gleichgewichtsfiguren sind. Giebt es auch hier Identität zwischen den Erscheinungen der allgemeinen Gravitation und denen der Molecular-Attraction? Ohne Zweifel sind die sonderbaren Gestalten, welche wir eben kennen lehrten, keine Ellipsoïde; allein ihr Aussehen erlaubt den Unterschied dem Widerstand der umgebenden Flüssigkeit zuzuschreiben, welcher einerseits die erwähnten Biegungen veranlaſst, und andrerseits eine beständige Ungleichheit

Digitized by Google

der Winkelgeschwindigkeit zwischen den der Scheibe benachbarten und den entfernteren Portionen unterhält. Der Calcül allein könnte uns lehren, bis zu welchem Punkt die obige Verähnlichung begründet sey. Bei der Molecular-Attraction würde vielleicht die vollständige Lösung des Problems nicht so unübersteigliche Schwierigkeiten darbieten wie bei der allgemeinen Gravitation.

24. Bei allen in dieser Abhandlung beschriebenen Versuchen habe ich vorausgesetzt, das Oel und das alkoholische Gemisch seyen chemisch unwirksam auf einander, und ich habe gesagt, daſs es leicht sey, sich in kurzer Zeit zwei solche Flüssigkeiten zu verschaffen. Ich will jetzt das Verfahren, durch welches man dieses erreicht, umständlich angeben.

Zuvörderst macht man ein Gemisch von Alkohol und Wasser, mit einem gewissen Ueberschuſs von Alkohol, so daſs es bei der Prüfung im Probeglase (§. 3) die kleine Oelkugel ziemlich rasch zu Boden fallen läſst. Nachdem man das Gemisch in einer Menge dargestellt hat, die mehr als hinreicht, das zu dem Versuch benöthigte Gefäſs zu füllen, bringt man in dieſs Gemisch ungefähr doppelt so viel Oel als zu den Versuchen erfordert wird[1]). Hat man keine Flasche von hinlänglicher Gröſse, um das Ganze zu fassen, so vertheilt man die Masse in mehre Flaschen; allein alsdann muſs man dafür sorgen, daſs jede von ihnen Wasser, Alkohol und Oel in denselben Verhältnissen enthalte. Hierauf wendet man die Flasche viele Male rasch um, ohne sie jedoch zu erschüttern, bis das Oel in Kugeln von Nadelkopfgröſse zertheilt worden ist; dann läſst man es stehen.

Alsdann müssen, bei gehöriger Menge des Alkohols im Gemisch, die Kügelchen äuſserst langsam sinken, so

1) Es ist unumgänglich, die beiden Flüssigkeiten in Ueberschuſs zu haben, weil bei den verschiedenen Operationen, die beschrieben wurden, und bei der Anstellung der Versuche, nothwendig kleine Quantitäten verloren gehen.

Digitized by Google

daſs sie etwa eine Viertelstunde gebrauchen, um sich zum gröſseren Theile am Boden der Flasche zu sammeln. Wenn dem nicht so ist, fügt man, je nach Erforderniſs, Wasser oder Alkohol hinzu, vermischt, indem man die Flüssigkeit wie vorhin mehrmals umkehrt, läſst sie stehen, und fängt wiederum von Neuem so an, bis man zu dem eben angezeigten Resultat gelangt ist. Hat man es erreicht, so bringt man das Ganze auf Filter und bedeckt die Trichter, welche sie enthalten, mit Glasplatten; diese Vorsicht ist nöthig, theils um so viel wie möglich die Verdampfung des Alkohols zu hindern, theils aus einem anderen Grunde, von dem ich weiterhin sprechen werde.

Die alkoholische Flüssigkeit geht zuerst durch die Filtra, und nimmt gewöhnlich eine gewisse Anzahl der kleinen Oelkügelchen mit sich. Nachdem sie so zum gröſseren Theile durchgegangen ist, werden die Kügelchen häufiger; nun bringt man, was noch auf den ersten Filtern zurückgeblieben ist, nämlich das Oel mit einem Reste der alkoholischen Flüssigkeit, auf ein einziges Filtrum auf einer neuen Flasche. Diese letztere Filtration geschieht, wegen der Dickflüssigkeit des Oels, viel langsamer als die erstere; man beschleunigt sie beträchtlich, wenn man während der Operation das Filtrum einige Male erneut. War der Trichter sorgfältig bedeckt, so sammelt sich das Oel in einer einzigen Masse am Boden der Flasche unter einer Schicht der alkoholischen Flüssigkeit.

Die vorstehenden Operationen gaben uns zum Resultat: einerseits ein unwirksames alkoholisches Gemisch, welches noch einen geringen Ueberschuſs von Alkohol enthält, gemengt mit einer gewissen Anzahl kleiner Oelkügelchen, und andrerseits ein gleichfalls unwirksames Oel, bedeckt mit einer kleinen Schicht desselben alkoholischen Gemisches. Eine zweite Filtration befreit das Gemisch vollständig von den beigemengten Oelkügelchen, und was das Oel unter der alkoholischen Schicht betrifft,

Digitized by Google

so zieht man es unter dieser mit einem Heber, der ein Seitenrohr hat, hervor, und bringt es in eine trockne Flasche, die man gut verkorkt. Auf diese Weise hat man die beiden Flüssigkeiten getrennt, und völlig unwirksam auf einander. Findet man bei der Anwendung, daſs die alkoholische Flüssigkeit ein wenig zu dicht ist, so ajustirt man sie mit reinem Alkohol; hat sie dagegen zu wenig Dichtigkeit, so setzt man ihr Alkohol von 16° B. hinzu. Im letzteren Falle darf man kein reines Wasser anwenden, weil dieses, bei Vermischung mit der zubereiteten alkoholischen Flüssigkeit, darin eine mehr oder weniger starke Trübung hervorbringt.

Die verschiedenen Versuche, welche ich in Bezug auf das obige Verfahren gemacht, haben mich erkennen lassen, daſs die beiden Flüssigkeiten, ohne diese Zubereitung, modificirt werden, wenn sie zusammenkommen. Die alkoholische Flüssigkeit löst Oel, und dieses seinerseits wahrscheinlich Alkohol. Besonders die Modification, welche das Oel erleidet, ist es, wodurch dieses in seiner Dichte so verringert wird (§. 6). Wenn das so modificirte Oel der Luft ausgesetzt bleibt, so geht es nach und nach in den Zustand des frischen Oels über und nimmt seine frühere Dichte wieder an. Um dieſs zu vermeiden empfahl ich eben, die Trichter, welche die Filtra enthalten, beständig zugedeckt zu halten und das Oel in einer verschlossenen Flasche aufzubewahren. Was das alkoholische Gemisch betrifft, so ist klar, daſs diese letztere Vorsicht gleichfalls nöthig ist.

25. Ehe ich schlieſse muſs ich Diejenigen, welche meine Versuche wiederholen wollen, auf zwei Erscheinungen aufmerksam machen, die sich zuweilen einstellen, und welche Störungen hervorbringen, wenn man sie nicht zu verhüten oder zu vernichten weiſs.

Wenn man das Oel in ein einen Ueberschuſs von Alkohol enthaltendes Gemisch bringt, so geschieht zuweilen, daſs die Masse, welche zu Boden des Gefäſses

gesunken ist, an diesem haften bleibt und sich daselbst mehr oder weniger ausbreitet. Es giebt alsdann kein anderes Mittel als das Ganze herauszunehmen; um indeſs das erwähnte Anhaften zu verhüten, braucht man nur dafür zu sorgen, daſs der Boden des Gefäſses mit einer Schicht eines Gemisches von gröſserer Dichte als das Oel (§. 9) bedeckt sey.

Der zweite Effect stellt sich unter umgekehrten Umständen ein, d. h. wenn die Oelkugel, statt zu Boden zu sinken, im Gegentheil steigt bis zur Oberfläche der alkoholischen Flüssigkeit, sey es, weil diese Flüssigkeit zu wenig Alkohol enthält, oder weil man kein zubereitetes Oel anwenden konnte. Wenn dieſs geschieht, plattet sich die Masse anfangs mehr oder weniger ab gegen die Oberfläche des Gemisches, wie wenn letztere einen Widerstand darböte; darauf, nach einiger Zeit, bricht sie durch und bildet ein mehr oder weniger beträchtliches, ebenes Oberflächenstück im Niveau der alkoholischen Flüssigkeit. Leider haftet sie aber dann an dieser selben Flüssigkeit so stark, daſs man sie nur schwierig ablösen kann. Es ist indeſs ein Leichtes diesen Effect zu verhindern, wenn man auf die Oberfläche eine kleine Schicht reinen Alkohols gieſst; derselbe kann auch dazu dienen, den Effect zu zerstören, nachdem er sich bereits eingestellt hat. Im letzteren Fall kann man auch das Gefäſs vorsichtig umkehren. Die damit der Flüssigkeit eingeprägte Bewegung reicht in der Regel hin, die Oelmasse abzutrennen, bis auf eine kleine Portion, die fast immer an der Oberfläche haften bleibt.

26. Endlich habe ich schon erwähnt, daſs nach einer gewissen Zahl von Versuchen das Oel immer mit kleinen Kügelchen der alkoholischen Flüssigkeit erfüllt bleibt. Umgekehrt findet sich oft die alkoholische Flüssigkeit mit einer Menge kleiner Oelkügelchen gemengt. Es ist wohl unnöthig zu bemerken, daſs wenn diese Kügelchen zu zahlreich geworden sind und man den Flüs-

Digitized by Google

sigkeiten ihre anfängliche Durchsichtigkeit wieder geben will, dieſs leicht durch analoge Filtrationen geschieht, wie ich vorhin (§. 24) beschrieben habe.

27. Bis hieher beschäftigten wir uns mit den Gestalten, welche eine flüssige Masse annimmt, wenn sie der Schwere entzogen und der Attraction ihrer Molecule ausgesetzt ist, entweder bei Ruhe oder bei Einprägung einer Rotationsbewegung um sich selbst. Ungeachtet der Verschiedenheit der Gesetze, welche die Anziehungskräfte in diesem Falle und in dem der groſsen Planetenmassen befolgen, haben wir gesehen, daſs sich im Kleinen die Configurationsphänomene der Himmelskörper in auffallender Weise hervorbringen lassen. Im zweiten Theile dieser Abhandlung werde ich unsere flüssige Massen neuen Kräften unterwerfen, und wir werden dabei eine Reihe eben so sonderbarer, aber ganz anders beschaffener Phänomene auftreten sehen [1]).

V. *Beobachtungen gewisser Fälle von elliptischer Polarisation des Lichts durch Reflexion; von Baden Powell.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Philosoph. Transact. f.* 1843, *pt.* 1, *p.* 35.)

Die Eigenthümlichkeit, welche dem ursprünglich gegen die Einfallsebene geneigt polarisirten Licht bei Reflexion von Metallen eingeprägt wird, von Sir D. Brewster entdeckt und von ihm elliptische Polarisation genannt worden ist [2]), fällt zusammen, wie sich später gezeigt hat, mit dem, was, nach einer anderen Analogie, in der Un-

1) Ein Auszug von diesem zweiten Theil der Abhandlung findet sich schon in dies. Ann. Bd. 56, S. 167. *P.*

2) *Phil. Transact. f.* 1830. (Ann. Bd. 21, S. 219.)

dulationstheorie mit demselben Namen belegt wird, und auch durch ein eingeschaltetes Glimmerblatt oder durch innere totale Reflexion, wie in Fresnel's Rhomboïd, erzeugt werden kann.

Die deutlichste experimentelle Probe vom Daseyn dieser Eigenthümlichkeit und ein Maaſs ihres Betrages liefert die bekannte *Verschiebung* der polarisirten Ringe, die man in einem Lichte dieser Art durch eine Kalkspathplatte und einen Turmalin erblickt. Und diese wird, wie in anderen Fällen, theoretisch ausgedrückt durch eine Formel für die Intensität an jeder Stelle der Platte, beim *Rhomboïd* für *Circularpolarisation*, wie in Hrn. Airy's „*Tracts on the undulatory theory*“ *Art.* 160, und für *elliptische Polarisation*, wie in desselben Verfassers Aufsatz über den Quarz [1]). Eine allgemeine Formel für die Ringe im Lichte eines jeden Grades von Elliptіcität, nicht beschränkt durch die besondern Bedingungen beim Rhomboïd, ist bisher noch nicht veröffentlicht. Ich verdanke indeſs Hrn. Airy die Mittheilung einer solchen Formel, die ich, da sie einige merkwürdige Anwendungen gestattet, in dem Folgenden geben werde.

In unmittelbarer Beziehung zu Sir D. Brewster's Versuchen „*über dünne Häutchen*“ [2]) untersuchte Prof. Lloyd i. J. 1841 nach den Grundsätzen der Undulationstheorie den allgemeinen Fall, wo Licht, das zuvor in irgend einem Azimut polarisirt worden, von einer dünnen Platte unter irgend einem Winkel reflectirt wird. Und durch Verallgemeinerung der Methoden von Poisson fand er Ausdrücke sowohl für die Intensität, als auch für die Phase der von den zwei Flächen reflectirten Bündel, welche im Allgemeinen in der Verzögerung abweichen und polarisirt sind, das eine in der Reflexionsebene und das andere winkelrecht darauf, woraus denn

1) *Cambridge Transact.* 1831. (Ann. Bd. 23, S. 204.)

2) *Philosoph. Transact. f.* 1840. (Ann. Bd. 58, S. 453.)

Digitized by Google

im Allgemeinen ein *elliptisch polarisirtes* Licht hervorgeht [1]).

Prof. Lloyd's Theorie scheint die verschiedenen von Sir D. Brewster beobachteten Erscheinungen, so wie die von Hrn. Airy über die Farben dünner Platten im polarisirten Lichte [2]), vollständig zu erklären. Auch folgert Prof. Lloyd, dieselben Grundsätze seyen anwendbar auf die elliptische Polarisation bei Reflexion von polirten Metallen, in der Hypothese, dafs die Oberflächenschichten derselben als dünne Platten betrachtet werden können oder wenigstens in analoger Weise wirken.

Ehe ich mit Prof. Lloyd's theoretischen Untersuchungen bekannt wurde, hatte ich eine experimentelle über die Erscheinungen der elliptischen Polarisation bei Reflexion von verschiedenen Oberflächen vorgenommen, und im Laufe derselben wurde ich auf einige Fälle geführt, die specieller mit der Theorie, und besonders mit den eben erwähnten Ansichten zusammenhängen.

Mein Verfahren bestand immer darin, dafs ich die Modificationen der polarisirten Ringe unter verschiedenen Umständen sowohl der Oberfläche als der Incidenz beobachtete, und durch die Verschiebung dieser Ringe sowohl das Daseyn als die Elliptieität zu bestimmen suchte; auch lenkte ich mein Augenmerk auf die *Richtung* der Verschiebung, da sie in den abwechselnden Quadranten in einigen Fällen in diesem, in anderen im entgegengesetzten Sinne stattfand.

Die Beobachtungen zerfallen in zwei Klassen. Die der *ersten* beschäftigen sich mit der Frage, welche Substanzen eine elliptische Polarisation hervorbringen, und sie untersuchen die Lichtreflexion bei verschiedenen Körpern, von denen ich hier nur ein Paar merkwürdige anführen werde. Die der *anderen* betreffen dünne Häutchen

1) *Report of British Association* 1841, *Sectional Proceedings*, *p.* 26.

2) *Cambridge Transact.* 1832. (Ann. Bd. 28, S. 75.)

Digitized by Google

verschiedener Art, namentlich die durch Oxydation oder andere Wirkung auf Metallen gebildeten. In diesen Fällen zeigt sich im Allgemeinen die Ellipticität in verschiedenen Graden und hinsichtlich der Richtung mit verschiedenen Charakteren, während sie in einigen Fällen zerstört oder auf ebene Polarisation zurückgeführt ist.

Ich beobachtete diese Erscheinungen zuerst bei stark polirten Metallen, die mit der Zeit angelaufen waren und ein irisirendes Häutchen auf der Oberfläche zeigten, ohne daſs die Politur vernichtet worden. Als ich ferner, während des Beobachtens der Ringe, die Metalle erhitzte, sah ich die Ellipticität verschwinden, fand aber bald, daſs dieſs von den farbigen Häutchen herrührte, die sich auf der Platte gebildet hatten und nach deren Erkalten verblieben. Dadurch wurde ich veranlaſst dergleichen Versuche, bei denen die Farben in regelmäſsiger Reihenfolge gebildet wurden, genauer anzustellen, und auch den Stahl in verschiedenen Stufen des Anlassens zu untersuchen.

Von diesen Fällen wurde ich natürlich zu denen geführt, wo Häutchen von metallischem Niederschlag durch Nobili's galvanischen Proceſs erzeugt werden. Dr. Daubeny versah mich gütigst mit Proben davon. Bei diesen Häutchen folgen die Farben, wie bekannt, wenigstens im Allgemeinen, der Newton'schen Skale; die dickste Schicht wird dort abgelagert, wo die Wirkung am intensivsten ist oder die mit den Polen verbundenen Flächen einander am nächsten kommen. In allen diesen Fällen hatte ich eine auf Metall gebildete Reihenfolge von Häutchen, bei denen die in der Polarisation hervorgebrachten Veränderungen in regelmäſsiger Ordnung verfolgt werden konnten.

Das allgemeine Resultat in allen diesen Fällen ist: *daſs von irgend einer Farbe zur andern, durch die ganze Farbenordnung hin, die Gestalt der Ringe im reflectirten Licht gewisse regelmäſsige Veränderungen erleidet, von einer Verschiebung in einer Richtung an*

bis

bis zu der in entgegengesetzter, durchgehend durch einen intermediären Punkt ohne Verschiebung oder von ebener Polarisation, und zwar mit abwechselndem Auftreten eines schwarz- und eines weiſscentrirten Systems, so lange als die Ordnung der Farben rein erhalten wird.

Nun sind dieſs genau die Veränderungen in der Gestalt der Ringe, welche durch Hrn. Airy's Formel ausgedrückt werden, wenn man sie entsprechend den den periodischen Farben der Häutchen zugehörigen Retardations-Incrementen modificirt.

Es giebt Punkte, über welche man für jetzt vielleicht sich keine entscheidende Meinung bilden kann. Allein die Thatsache, daſs die Ellipticität, aus welcher Ursache sie auch entspringen mag, die eben erwähnten Veränderungen erleidet, liefert einen interessanten Vergleich mit der Theorie, und unterstützt die Fortschritte in der Erkenntniſs der Natur des Vorgangs, welcher die elliptische Polarisation in diesen Fällen erzeugt.

Apparat und Methode des Experimentirens.

Die Einrichtung meines Apparats war wesentlich folgende: Das Licht ward polarisirt durch ein Nicol'sches Prisma, welches an einem kleinen graduirten Kreisbogen saſs, so daſs es den polarisirten Strahl unter jedem verlangten Einfall auf die zu untersuchende Fläche werfen konnte; auch konnte es um seine eigene Axe gedreht werden, um die Ebene der Polarisation gegen die der Incidenz zu neigen.

Nach der Reflexion ging der Strahl durch einen Zerlegungsapparat, bestehend aus einem Kalkspath und einem Turmalin, und ajustirbar nach den verschiedenen Neigungen, unter welchen die polarisirten Ringe in den verschiedenen Modificationen, die sie in verschiedenen Fällen erlitten, hervorgebracht wurden. Auch dieser Apparat hatte eine Drehbarkeit um seine eigene Axe, meſsbar an einem graduirten Kreis. Kaum wird es nöthig seyn, der Be-

schreibung des Apparats noch etwas hinzuzufügen, es sey denn die Bemerkung, daſs auch eine Vorrichtung nöthig war, um die zu untersuchende Fläche horizontal unter dem Polarisationsapparat verschieben und so die etwanigen Veränderungen derselben von Punkt zu Punkt untersuchen zu können.

In vielen Fällen, wo einzelne Stellen einer ungleichmäſsigen Fläche zu untersuchen waren, befestigte ich an dem Ocular eine Linse von kurzer Brennweite zwischen dem Kalkspath und der reflectirenden Fläche. Dadurch war ich im Stande auf sehr kleinen Stücken der Fläche, die entblöſst gelassen wurden, während man das Uebrige bedeckte, die Ringe mit groſser Deutlichkeit zu sehen.

In allen Fällen ist vorausgesetzt, der Zerleger befinde sich in der Lage, daſs er die verschobenen Ringe gebe, mit nächster Annäherung zum dunklen Kreuz auf blankem Metall. Die circularen Systeme sind allein beschrieben als mit dunklem oder hellem Mittelpunkt.

Die Richtung der Verschiebung ist unterschieden durch die Quadranten, in welchen die dunklen Flecke nahe beim Mittelpunkt vorkommen. Die Lage der dieselben auf blankem Metall verbindenden Linie ist als Nullpunkt zum Vergleich mit andern Fällen angenommen.

Die Beobachtungen wurden bei verschiedenen Einfallswinkeln wiederholt, allein zum Behuf des hier beabsichtigten Vergleichs reichte es hin die Resultate bei *einer* Incidenz anzugeben.

Beobachtungen.

Professor Forbes's Glimmer.

Die ursprünglichen Beobachtungen **Brewster's** waren auf reine Metalle und auf ein Paar Erze beschränkt. Bei allen war die Ellipticität bei Incidenzen von weniger als etwa 30° merklich, und zwischen 70° und 80° kam sie zum Maximo.

Auſser diesen ist meines Wissens nur noch ein Bei-

Digitized by Google

spiel von elliptischer Polarisation durch Reflexion beschrieben, nämlich von Prof. Forbes am Glimmer, in dem eigenthümlichen Zustand, wie er ihn zu seinen Versuchen über die Wärme gebraucht [1]).

Bei Wiederholung des Versuchs beobachtete ich, daſs diese Polarisation ihr Maximum bei einer Incidenz zwischen 20° und 30° hat, und daſs die Richtung der Verschiebung 90° ist. Allein die so gebildeten Schichten haben ihre krystallinische Structur oder verzögernde Eigenschaft nicht verloren, und es kann zweifelhaft seyn, in wie weit die Erscheinung auf gewöhnliche Weise erklärbar ist.

Verwittertes Glas.

Einige Stücke Glas, dessen Oberfläche sich in dem bekannten Zustand von Verwitterung befand, nicht allein irisirte, sondern einen eigenthümlichen Metallglanz hatte, zeigten mir elliptische Polarisation, wiewohl keine wahrnehmbar war bei anderen, die zwar stark irisirten, aber nicht metallisch aussahen. Es zeigen sich jedoch Anomalien gegen andere Reflexionen von Metallen, denn das Maximum kommt bei kleinen Incidenzen (etwa 30° bis 40°) zum Vorschein, und die Richtung der Verschiebung ist 90°.

Minerale.

Unter einer Menge von Erzen habe ich nur bei wenigen, die entschiedenen Metallglanz besitzen, elliptische Polarisation gefunden. Welcher Antheil von Metall nöthig sey, um elliptische Polarisation zu geben, ist eine interessante Frage für künftige Untersuchungen. Ein merkwürdiges Beispiel ist *Graphit*, welcher eine kleine, aber deutliche Elliplicität giebt; seine Zusammensetzung ist bekanntlich zweifelhaft (?); nach höchster Schätzung enthält er 95 Kohle auf 5 Eisen.

1) *Report of British Association* 1839, *Sectional Proceedings p.* 6. — Vergl. Ann. Bd. 45, S. 65.

Bei einigen Erzen, die von Natur irisiren, scheint das Resultat analog dem, welches ich bei künstlichen Oberflächen der Art beschreiben werde.

Oxydation.

Der gewöhnliche Effect der Oxydation besteht darin, daſs er die elliptische Polarisation in ebene verwandelt. Dieſs ist der Fall bei der Oxydation des Kupfers etc. durch einen Tropfen Salpetersäure, so wie bei der an der Luft matt gewordenen Oberfläche der meisten Metalle.

Ein durchsichtiges Häutchen auf der Oberfläche eines polirten Metalls kann die Ellipticität schwächen oder zerstören, offenbar weil die Brechung in demselben den Strahl unter einem zu kleinen Winkel auf das darunter befindliche Metall fallen läſst.

Quecksilber, wenn es rein ist, giebt eine starke elliptische Polarisation, und selbst bekleidet mit einer Oxydhaut, die sich so leicht auf ihm bildet, bleibt die Ellipticität unverändert. Die Oberfläche des Oxyds hat jedoch eine Art metallisches Ansehen.

Daguerreotyp-Platten.

Bei einer solchen Platte, auf welcher ein Bild gemacht war, konnte ich bei Incidenzen von 60° bis 70° zwischen den blank gebliebenen und den stark angegriffenen Stellen der Oberfläche keinen Unterschied im Grade der Ellipticität oder in Richtung der Verschiebung wahrnehmen.

Angelaufener Stahl.

Ich untersuchte Stahlplatten im gewöhnlichen Zustand und in zwei Stufen des Anlassens, nämlich im gelben oder strohfarbenen und im blauen Zustand. Der erstere wird bekanntlich bei der niedrigsten Hitze gebildet. Die dabei erzeugte Haut änderte sowohl den Betrag als die Richtung der Verschiebung.

Digitized by Google

Dr. Thomson äuſsert bei Beschreibung des Anlassens, es frage sich, ob die Farbenveränderungen von dünnen Schichten eines einzigen Oxydes oder von mehren successiv erzeugten Oxyden herrühren [1]). Die letztere Ansicht stimmt mit meinen Resultaten, so wie auch mit der Beständigkeit der Farbe beim Aendern der Neigung. Die Resultate waren folgende:

Incidenz.	Stahlfläche.	Polarisation; elliptisch.	Mittelpunkt.	Verschiebungsrichtung.
70°	blank	stark		0°
	angelassen gelb	sehr schwach oder Null	dunkel	0°
	- blau	sehr schwach	dunkel	90°

Farbige Häutchen auf Stahl durch Erhitzung.

Um die Erscheinung in ihrer Reihenfolge genauer zu untersuchen, bildete ich auf stark polirten Stahlplatten von etwa fünf Quadratzoll farbige Häutchen, indem ich sie von unten in der Mitte durch die Flamme einer Weingeistlampe erhitzte. Es erschienen dann bald auf der oberen Fläche Farben in der Form von Ringen um den Punkt der Erhitzung.

Jede Farbe erscheint der Reihe nach erst in der Mitte, und dann breitet sie sich aus. Die ersten Farben folgen einander im Laufe weniger Secunden, die späteren folgen langsamer, bis zuletzt, wenn die Erhitzung eine beträchtliche Zeit gedauert hat, keine weitere Veränderung stattfindet.

Die Farben, wenn man von der äuſsersten zu der innersten fortgeht, lassen sich folgendermaſsen gruppiren:

1) Röthlichbraun, karmoisin, tief purpur, dunkelblau, hellblau, schwach gelb;
2) schwach roth, hellblau, blaſs röthlichbraun (im Mittelpunkt).

1) *Chemistry* 6. *Edit.*, *I*, *p.* 386.

Digitized by Google

Die beiden letzten Farben sind sehr schwach und scheinen mit einer Art von wolkigem Weiſs überzogen.

Es ist schwer diese Farben mit irgend einem Theile der Newton'schen Skale zu vergleichen; ich habe sie hier in zwei Abtheilungen gebracht, die deutlich durch eine Periodicität bezeichnet sind, während in den beiden letzten Farben ein eigenthümlicher Charakter vorzuherrschen scheint.

Die erwähnte Annahme einer Aenderung in der Oxydationsstufe scheint mit dem eigenthümlichen Ansehen der beiden letzten Farben übereinzustimmen, während die Periodicität der ersteren die Voraussetzung von dünnen Schichten an diesen Stellen rechtfertigt.

In den beobachteten Erscheinungen der Ellipticität treten Unterschiede hervor, die den *regelmäſsigen* Farbenordnungen entsprechen; denn wenn man sie der Reihe nach unter dem Apparat fortgehen läſst, kommen entsprechende Veränderungen in dem Betrag und der Richtung der Verschiebung vor, wenigstens bei dem Roth der zweiten Abtheilung, während in dem übrigen Theil die Ellipticität stark vermindert, die Richtung nicht geändert wird.

Incidenz.	Stahlfläche.		Polarisation.	Mittelpunkt.	Verschiebungsrichtung.
70°	blank		ellipt. stark		0°
	1. Roth		ellipt. stark		0°
	Blau	1	eben	hell	
		2	ellipt. stark		90°
	Gelb		eben	dunkel	
	2. Roth		ellipt. stark		0°
	Blau etc.		schwach	dunkel	0°

Farbige Häutchen auf Kupfer durch Erhitzung.

Auf Kupferplatten von gleicher Gröſse mit den Stahlplatten bildete ich Farben genau auf dieselbe Weise wie auf diesen. Die Farben scheinen nicht genau dieselben

Digitized by Google

wie auf Stahl zu seyn, obwohl sie ihnen im Allgemeinen entsprechen. Mit der äuſsersten angefangen sind sie: 1) Roth, purpur, blaſsgelb, gelb. 2) Roth, grün, schmutzig braun.

Die beiden letzten Farben sehen dunkel aus, verschieden von dem Metallglanz der übrigen. Dieſs, wie beim Stahl, mag mit der Annahme verschiedener Oxydationsstufen übereinstimmen. Bei den ersten Farben finden sich auch hier ähnliche Veränderungen der Ellipticität, aber keine bei den beiden letzten.

Incidenz.	Kupferfläche.	Polarisation.	Mittelpunkt.	Verschiebungsrichtung.
70°	blank	ellipt. stark		0°
	1. Roth	ellipt. stark		0°
	Purpur	eben	hell	
	Gelb { 1	ellipt. stark		90°
	Gelb { 2	eben	dunkel	
	2. Roth	ellipt. stark		0°
	Grün etc.	schwach	dunkel	0°

Nobili's farbige Häutchen.

Auſser daſs Dr. Daubeny mich mit mehren Stahlplatten versah, auf welchen die Farben dieser Häutchen bis zur dritten Ordnung sehr glänzend entwickelt waren, hatte derselbe die Güte noch andere Platten in seinem Laboratorium zubereiten zu lassen, damit ich die Ordnung der hervorgebrachten Effecte verfolgen könne.

Bei Zubereitung einer derselben wurde der Proceſs länger als sonst unterhalten, und so eine vierte Ordnung sehr schwacher Farben erhalten. In einem andern Falle wurde der Proceſs noch länger fortgesetzt, und dadurch Farben erhalten, die zwar dieselbe Reihe befolgten, von der vierten Ordnung an aber äuſserst dunkel und undeutlich waren; die fünfte Ordnung war wegen zunehmender Trübheit kaum sichtbar. Sie folgten der Reihe nach auf einander bis zum Umfang, wo sie zuletzt zusammengedrängt eine schmale Franse bildeten, deren Mitte tief braun

Digitized by Google

oder schwarz war, und matt oder opak aussah. Wenn dieſs eingetreten war, bewirkte eine längere Fortsetzung der galvanischen Action keine weitere Veränderung.

Es leidet kaum einen Zweifel, daſs nicht die zunehmende Mattheit bei den letztern Farbenordnungen, so wie zuletzt die Trübheit der Schicht aus einer Aenderung in der Natur des Niederschlags entsprang, der in dieser Stufe des Processes abgelagert wurde.

Bringt man die farbigen Theile der Platte successiv unter den Apparat, so zeigen sich die Aenderungen der Ringe deutlich in den drei ersten Farbenordnungen, obwohl sie sehr dicht auf einander folgen, wenn man am Rande der Schicht anfängt. Beim Durchgang durch das weiſscentrirte System sind die Farbenveränderungen sehr auffallend und zuerst einigermaſsen verwirrend.

Durch wiederholte Beobachtungen an verschiedenen, mit einander verglichenen Platten wurden folgende allgemeine Resultate erhalten:

Incidenz.	Stahlfläche.	Polarisation.	Mittelpunkt.	Verschiebungsrichtung.
70°	blank	ellipt. stark		0°
	Erste Farbenordnung:			
	gelb 1	ellipt. stark		90
	gelb 2	eben	dunkel	
	roth 3	ellipt. stark		0
	roth 4	eben	hell	
	Zweite Ordnung:			
	grün 1	ellipt. stark		90
	grün 2	eben	dunkel	
	roth 3	ellipt. stark		0
	roth 4	eben	hell	
	Dritte Ordnung:			
	grün 1	ellipt. stark		90
	grün 2	eben	dunkel	
	roth 3	ellipt. stark		0
	roth 4	eben	hell	
	Vierte Ordnung:			
	grün	ellipt. schwach	dunkel	0
	roth	ellipt. sehr schwach	dunkel	0
	Schwarz	ellipt. sehr schwach oder Null	dunkel	0

Digitized by Google

Analytische Untersuchung.

Hrn. Airy's allgemeine Formel ist folgendermaſsen hergeleitet. Gesetzt eine Vibration in der Ebene P, für welche man nach der in der Undulationstheorie üblichen Bezeichnung den Ausdruck hat:

$$a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$$

falle auf eine Metallfläche, so daſs P gegen die Reflexionsebene R um 45° neige, so werden (wenn die auf R senkrechte Vibration um ϱ in der Phase beschleunigt wird) die Componenten seyn:

$$\frac{a}{\sqrt{2}} \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt-x) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad \text{in } R$$

$$\frac{a}{\sqrt{2}} \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\varrho) \;.\; \text{senkrecht auf } R.$$

Für eine gegen R unter den Winkel φ geneigte Ebene Q in der Krystallplatte wird dann die auf Q senkrechte Vibration, die den ordentlichen Strahl O giebt, (bei Vernachlässigung des constanten Coëfficienten) ausgedrückt durch

$$\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\varrho)\right)\cos\varphi - \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\sin\varphi = O$$

und die in Q, welche den auſserordentlichen Strahl E giebt:

$$\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\varrho)\right)\sin\varphi + \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\cos\varphi = E.$$

Allein beim Austritt aus der Krystallplatte ist letztere um die von der durchlaufenen Dicke abhängige Gröſse ϑ beschleunigt, und demgemäſs wird sie

$$\sin\varphi \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\varrho)+\vartheta\right) + \cos\varphi \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+\vartheta\right) = E'.$$

Die nach der Zerlegung in einer auf P senkrechten Ebene A übrig bleibenden Theile werden also

$$O\cos(45^\circ-\varphi) - E'\sin(45^\circ-\varphi).$$

Diese Gröſsen entwickelt, lassen sich zuletzt reduciren auf die Form:

Digitized by Google

$$H \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+K\cos\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x),$$

woraus, nach Reduction

$$H^2+K^2=1-\sin^2 2\varphi\cos\varrho-\cos 2\varphi\sin\varrho\sin\vartheta-\cos^2 2\varphi\cos\varrho\cos\vartheta.$$

Dieſs ist der Ausdruck für die Intensität des Lichts an irgend einer durch φ und ϑ bezeichneten Stelle der Ringe. Er ändert sich nach den verschiedenen Werthen von ϱ oder der Verzögerung, die aus Unterschieden in der Natur der Häutchen auf den Metallen entspringt, folgendermaſsen:

Ausdruck für die Intensität, bei gegebenem ϑ.

Werthe von ϱ.	Für φ im Allgemeinen.	$\varphi=\begin{cases}0°\\180\end{cases}$	$=\begin{cases}45°\\225\end{cases}$	$=\begin{cases}90°\\270\end{cases}$	$=\begin{cases}135°\\315\end{cases}$
I. 0	$1-\sin^2 2\varphi-\cos^2 2\varphi\cos\vartheta$	$1-\cos\vartheta$	0	$1-\cos\vartheta$	0
III. $\frac{1}{2}\pi$	$1-\cos 2\varphi\sin\vartheta$	$1-\sin\vartheta$	1	$1+\sin\vartheta$	1
II. π	$1+\sin^2 2\varphi+\cos^2 2\varphi\cos\vartheta$	$1+\cos\vartheta$	2	$1+\cos\vartheta$	2
IV. $\frac{3}{2}\pi$	$1+\cos 2\varphi\sin\vartheta$	$1+\sin\vartheta$	1	$1-\sin\vartheta$	1
V. 2π	$1-\sin^2 2\varphi-\cos^2 2\varphi\cos\vartheta$	$1-\cos\vartheta$	0	$1-\cos\vartheta$	0
etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.

Natur der Ringe.

I. Kreisrund, Mittelpunkt schwarz.
II. Verschoben.
III. Kreisrund, Mittelpunkt weiſs.
IV. Verschoben, entgegengesetzt wie II.
V. Kreisrund, Mittelpunkt schwarz.
u. s. w.

Diese Veränderungen stimmen, durch eine Farbenordnung hin, mit den beobachteten, wenn der Anwuchs der Gröſse ϱ von 0 zu 2π einem Zuwachs von Einer Wellenlänge entspricht, oder wenn $\varrho=\frac{2\pi k}{\lambda}$ und k successiv gleich 0, $\frac{1}{4}\lambda$, $\frac{1}{2}\lambda$ etc. gesetzt wird.

Digitized by Google

VI. *Ueber die Polarisation des Lichts an Metallen; von Hrn. Jamin.*

(*Compt. rend. T. XXI, p.* 430. — Vom Verf. gemachter Auszug aus seiner Abhandlung.)

Diese Arbeit befaſst sich mit Untersuchung der Modificationen, welche das polarisirte Licht erleidet, wenn es an Metallen reflectirt wird, die mit einer dünnen Oxydschicht bekleidet sind.

Ich bediente mich dazu theils Stahlplatten, welche die beim Anlassen erzeugten Farben beſaſsen, theils Neusilberplatten (*Lames de maillechort*), auf welche ich durch das Verfahren des Hrn. Becquerel dünne Schichten von Bleioxyd abgelagert hatte. Die letzteren zeigten eine Reihe paralleler Fransen, deren Farben den durchgelassenen Ringen Newton's analog, obwohl nicht ganz gleich waren.

Zuvörderst hatte ich zu untersuchen, ob die Erscheinungen bei diesen Platten denen ähnlich seyen, welche Hr. Arago entdeckt hat, als er zwischen einer Metallfläche und einer convexen Linse Farbenringe bildete. Bekanntlich sind in diesem Fall die Ringe, welche von einem gegen die Reflexionsebene senkrecht polarisirtem Licht erzeugt werden, identisch mit den unter der Incidenz Null reflectirten Ringen, verschwinden vollständig, wenn die Reflexion unter dem Polarisationswinkel des Glases geschieht, und kommen bei einem schieferen Einfall wieder zum Vorschein, allein mit complementaren Farben, so daſs sie die Farben der durchgelassenen Ringe zeigen.

Nehmen wir nun eine der gefärbten Neusilberplatten, beleuchten sie mit einem durch ein rothes Glas homogen gemachten und im Azimut Null polarisirten Lichte,

Digitized by Google

so finden wir, daſs die Fransen unter keinem Einfallswinkel verschwinden. Wir haben hier also ein neues Phänomen zu untersuchen.

Wenn indeſs die Abwechslungen von Hell und Dunkel auch nicht ganz verschwinden, so werden sie doch bei einer gewissen Incidenz weniger scharf. Die Fransen der ersten Ordnungen werden fast unsichtbar, und die, welche einer gröſseren Dicke der Oxydschicht entsprechen, schwächen sich in weit geringerem Grade. Diese, obwohl entfernte Analogie hat mir erlaubt, diese Incidenz als die des Polarisationsmaximums für die Substanz des Oxyds zu betrachten. Ich habe demnach, wie es schon Hr. **Brewster** gethan, angenommen, diese Incidenz genüge der Relation:

$$tang\ I = n.$$

Nachdem somit der Brechungsindex des Oxyds bestimmt worden, beleuchte man die Platte mit einem zwar homogenen, aber im Azimut 90° polarisirten Licht, und bestimme mit Sorgfalt die Lage der Maxima und Minima. Man wird finden, daſs sie mit der Incidenz bedeutend variiren.

Ich habe durch ein rein experimentelles Verfahren die relativen Dicken der dünnen Schicht bestimmt, und eine Curve construirt, deren Ordinaten diese Dicke für alle Punkte einer Platte angeben. Ich konnte alsdann untersuchen, welche Relation existire zwischen den Dikken, die einer selben Franse unter verschiedenen Incidenzen entsprechen. Die Beobachtungen bestätigten mit groſser Genauigkeit die schon bekannte Formel

$$e' = \frac{e}{cos\ r},$$

worin e und e' die Dicken unter dem Einfall 0° und unter irgend einer Schiefe, und r der Brechungswinkel.

Nachdem wir dieſs erste Gesetz erhalten, wollen wir zu dem Fall zurückkehren, wo das homogene einfallende Bündel im Azimut 0° polarisirt ist.

Digitized by Google

Die Lage der Fransen variirt noch mit der Incidenz und ihre Verschiebungen sind sogar ausgedehnter als im vorherigen Fall. Wenn man überdieſs in den beiden Fällen, wo das einfallende Licht in den Azimuten 0° und 90° polarisirt ist, die Lagen einer selben Franse untersucht, so findet man sie im Allgemeinen verschieden, und folglich sind die ihnen entsprechenden Dicken nicht dieselben.

Dieſs Resultat führt zu einer wichtigen Folgerung. Es lehrt uns, daſs die Dicke der dünnen Schicht nicht allein die Phasendifferenz erzeugt, welche die von der ersten und der zweiten Fläche reflectirten Strahlen zur Interferenz bringt: sondern daſs der Act der Reflexion selbst auch eine Verzögerung bewirkt, welche der aus dem Unterschied der durchlaufenen Wege entspringenden hinzutritt.

Werden die für ein bestimmtes Minimum durchlaufenen Wege, bei gleicher Incidenz, durch $2\,E \cos r$ für das Azimut 0° und $2\,e \cos r$ für das Azimut 90° bezeichnet, so giebt

$$2\,(E-e)\cos r$$

genau die aus einer einzigen Reflexion entspringende Phasendifferenz und, um ihre numerischen Werthe zu erhalten, braucht man nur E, e und r unter allen Incidenzen zu messen.

Um hier die allgemeine Formel für diese verschiedenen Werthe zu geben, eine Formel, die einiger Verificationen bedarf, will ich angeben, wie sie variirt.

Unter senkrechter Incidenz fallen die beiden Fransensysteme zusammen; die Phasendifferenz ist also Null; allein unter einem Winkel von 18 bis 20° wird sie sichtbar, nimmt rasch bis 90° zu und wird in diesem Falle einer halben Undulation gleich.

Der Winkel des Polarisationsmaximums für die Neusilberplatten ist ungefähr 65°; suchen wir für diese Incidenz die Phasendifferenz, so finden wir sie gleich einer Viertelwelle.

Digitized by Google

Setzen wir endlich voraus, wir berechneten die Formel:

$$tang\ \varphi = \frac{cos\,(1+r)}{cos\,(1-r)},$$

so können wir die beiden Incidenzen i und i' finden, die eine gröſser, die andere kleiner als der Winkel des Polarisationsmaximums, welche bis auf das Zeichen den Werth der *tang.* φ gleich machen; und wenn wir für jedes so erhaltene Werthepaar die Phasendifferenzen d und d' messen, so genügen sie immer der Bedingung

$$d + d' = \tfrac{1}{2}\lambda.$$

Ich kann nicht unterlassen aus diesen Resultaten eine Folgerung zu ziehen, die bemerkenswerth ist, obwohl sie zu einer Klasse von Erscheinungen gehört, die mit der, welche uns beschäftigt, nicht ganz einerlei ist: ich meine die Polarisation an Metallen.

Hr. Brewster hat gefunden, daſs polarisirtes Licht bei Reflexion von einer einzigen Metallfläche nicht mehr die feste Polarisation behält; daſs es aber, wenn man es abermals mit einer Metallfläche auffängt, wieder fest polarisirt werden kann. Dieſs geschieht immer, wenn die Einfallswinkel an beiden Metallplatten denen des Polarisationsmaximums gleich sind. Es geschieht auch noch, wie er gefunden hat, wenn die Einfallswinkel, obgleich verschieden, immer denselben Werth von φ in der Formel

$$tang\ \varphi = \frac{cos\,(1+r)}{cos\,(1-r)}$$

geben.

Diese Thatsachen sind einfache Folgerungen aus den eben angeführten Resultaten. In der That kann das an der ersten Metallfläche reflectirte Licht zerlegt werden in zwei nach den Azimuten 0° und 90° polarisirten Bündeln, die, wenn die Reflexion beim Polarisationsmaximum geschieht, eine Phasendifferenz von $\frac{1}{4}\lambda$ unter sich besitzen. Nun weiſs man, daſs diese beiden Bündel, wenn ihre Intensitäten gleich sind, ein circular polarisirtes Licht,

und wenn sie, wie im gegenwärtigen Fall, ungleich intensiv sind, ein elliptisches Licht hervorbringen. Fängt man also dieses Licht, unter derselben Incidenz, mit einer zweiten Platte auf, so verdoppelt man den Phasenunterschied, und die Polarisation wird wieder fest. Der zweite Fall erklärt sich mit derselben Leichtigkeit.

Es ist also zu hoffen erlaubt, daſs die der Academie vorgelegten Versuche ein Mittel liefern, die wahren Elementargesetze der Lichtpolarisation an Metallen aufzuſinden. Lassen wir aber diesen vielleicht voreiligen Schluſs bei Seite und untersuchen den Fall, wo das einfallende Licht weder in der Einfallsebene noch winkelrecht darauf polarisirt ist.

Ich habe gleichförmig gefärbte Platten angewandt, meistens von Stahl, einige auch von Neusilber.

Die Rechnung zeigt leicht, daſs wenn man ein elliptisch polarisirtes Bündel von homogenem Licht mit einem doppelt-brechenden Prisma auffängt, die beiden Bilder verschiedene Intensitäten haben, und daſs es für den Zerleger eine Richtung giebt, bei welcher das auſserordentliche Bild auf seinem Minimum, und das ordentliche auf seinem Maximum ist. Es ist der Fall, wenn der Hauptschnitt des Prismas winkelrecht ist auf der groſsen Axe der Ellipse, welche die Aethertheilchen beschreiben.

Suchen wir für alle Werthe der Incidenz i die Richtung, bei welcher das auſserordentliche Bild ein Minimum ist, so finden wir die Formel:

$$tang\, A' = tang\, A \frac{cos\,(i+r)}{cos\,(i-r)},$$

wo A' der Winkel dieser Richtung des Zerlegers mit der Reflexionsebene ist.

Die Relation $\frac{sin\, i}{sin\, r} = n$ wird durch einen besonderen Versuch bestimmt; sie hat hier nicht die gewöhnliche Bedeutung, indem der Winkel r nicht der der Brechung ist.

Digitized by Google

Lassen wir ein polarisirtes Bündel von weiſsem Licht auf die Platte fallen, so wird jede der darin enthaltenen einfachen Farben nach der Reflexion elliptisch polarisirt seyn, aber die Richtung der Axe der Ellipse ist nicht dieselbe für jede. Daraus kann man schlieſsen:

1) Daſs die Farbe einer Platte beim Drehen des Zerlegers sich ändert, und daſs sie eine Reihe von Farben, analog denen einer winkelrecht auf die Axe geschnittenen Bergkrystallplatte, durchläuft;
2) daſs die beiden Bilder ihre Farben gegenseitig verwechseln, wenn man von einem Winkel α zu dem $90^\circ + \alpha$ übergeht;
3) daſs ein selbes Bild wieder dieselben Veränderungen durchläuft, wenn man von α zu $180^\circ + \alpha$ übergeht.

VII. *Ueber die durch polarisirtes Licht in homogenen Flüssigkeiten hervorgebrachten Farben; von Augustin Fresnel.*

[Diese Abhandlung des unvergeſslichen Begründers der neueren Optik wurde der Pariser Academie am 30. März 1818 vorgelegt; sie wurde aber nicht sogleich gedruckt, und nach dem bald darauf erfolgenden beklagenswerthen Tode ihres Verfassers kam sie abhanden, so daſs das Publikum nichts weiter von ihrem Inhalt erfuhr, als was kurze Notizen oder verwandte Aufsätze (wie der in den Ann. Bd. 21, S. 276) davon zur Kunde gebracht hatten. Erst in diesem Jahre ist man so glücklich gewesen, nicht nur die vorliegende, sondern auch die nächstfolgende Abhandlung, so wie überhaupt den ganzen Schatz der Tagebücher des groſsen Physikers unter den Papieren seines Bruders, des Hrn. Léonor Fresnel, wieder aufzufinden. Hr. Biot hat darüber in den *Compt. rend.* vom 9. März d. J. umständlich Nachricht gegeben, und auch veranlaſst, daſs zunächst diese genannten beiden Abhandlungen in den *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XVII*, veröffentlicht worden sind. *P.*]

Hr. Biot hat zuerst bemerkt, daſs mehre homogene Flüssigkeiten die Eigenschaft besitzen, polarisirtes Licht zu

zu färben und das auſserordentliche Bild wieder hervorzurufen, wie krystallisirte Substanzen. Diese schöne Entdeckung hat bewiesen, daſs die polarisirende Thätigkeit der Körper unabhängig von der Anordnung der Theilchen und folglich bloſs von deren Constitution ausgeübt werden kann.

Seit langer Zeit lieſs die Analogie mich vermuthen, daſs diese Polarisationserscheinungen in den Flüssigkeiten von einer Doppelbrechung begleitet seyen wie in den Krystallen. Die Färbung des Lichts erklärt sich übrigens nach der Undulationstheorie auf eine so genügende Weise durch das Zusammentreffen zweier Wellensysteme, daſs es sehr natürlich war, die Existenz derselben selbst in homogenen Flüssigkeiten anzunehmen, als man diese Flüssigkeiten Farben hervorbringen sah.

Die Interferenztheorie liefert mehre sehr einfache Mittel, die geringsten Unterschiede im Gange zweier aus derselben Quelle entsprungener Wellensysteme zu erkennen. Man kann dazu z. B. das Phänomen der Farbenringe oder die aus dem Zusammentreffen zweier Lichtbündel entstehenden Fransen anwenden.

Ich habe zunächst das erste Verfahren benutzt. Ich preſste zwei Prismen an einander, so daſs sie Farbenringe bildeten, und lieſs dann unter dem Winkel der vollständigen Polarisation das Licht einer Lampe auf die in Berührung stehenden Flächen fallen. Die so reflectirten Strahlen gingen durch ein mit Terpenthinöl gefülltes Rohr von $1^m,715$ Länge. Wegen der Entfernung der Prismen bediente ich mich eines Operngukkers zum Beobachten der Ringe.

Mit dem Gucker allein gewahrte ich nicht mehr Ringe durch das Terpenthinöl als ohne dasselbe. Als ich aber ein Kalkspathrhomboëder im Innern des Fernrohrs anbrachte, so daſs zwei getrennte Bilder entstanden, sah ich in jedem derselben eine weit gröſsere Zahl von Ringen; sie erstreckten sich bis zu Dicken der Luftschicht,

wo ich zuvor keine entdecken konnte [1]). Das Erscheinen dieser neuen Ringe läſst sich nur durch die Annahme erklären, daſs in dem Intervall der sie erzeugenden Wellensysteme eine Verringerung eingetreten ist, oder was dasselbe heiſst, daſs ein Theil des an der Vorderfläche der Luftschicht reflectirten Wellensystems die Röhre etwas langsamer durchlaufen hat als ein Theil des an der Hinterfläche reflectirten. Man muſs also annehmen, daſs das Terpenthinöl, wie ein Krystall, den Gang des Lichts nach zwei verschiedenen Graden verlangsamt. Da die an der Vorder- und Hinterfläche der Luftschicht reflectirten Strahlen gleichmäſsig die Doppelbrechung dieser Flüssigkeit erleiden müssen, so folgt daraus, daſs die neuen Ringe höchstens durch die Hälfte des zum Auge gelangenden Lichts gebildet sind, wornach sie also weit schwächer als die übrigen seyn müssen.

Gegen die so eben aus diesem Versuch gezogenen Folgerungen könnte man einwenden, daſs, da die Umstände zur Entstehung der neuen Ringe genau dieselben sind, welche die Farben im Terpenthinöl entwickeln, die Vereinfachung des Lichts möglicherweise die Ursache der Vermehrung der Ringe sey. Allein zuvörderst muſs ich darauf antworten, daſs diese Farben wegen groſser Länge der Röhre sehr schwach waren, sie sogar bei gewissen Stellungen des Kalkspathrhomboëders unwahrnehmbar wurden, da die beiden Bilder nur noch die eigene Farbe der Flüssigkeit zu besitzen schienen. Man wird überdieſs

1) Hr. Arago hat vor langer Zeit einen ganz ähnlichen Versuch mit senkrecht gegen die Axe geschnittenen Bergkrystallplatten angestellt. Man bekommt auch dieselbe Erscheinung mit Bergkrystall- oder Gypsplatten, die parallel der Axe geschnitten sind, nur dürfen sie nicht dick seyn. Wenn sie bloſs 1 oder 2 Millimeter dick sind, finden sich die neuen Ringe vollständig getrennt von denen, die den Berührungspunkt umgeben, zum einleuchtenden Beweise der Doppelbrechung des Krystalls. Diese Eigenschaft der Krystallplatten könnte gleichgut angewandt werden um ihre Doppelbrechung, ihre Dicke oder die Krümmung der Objective von Teleskopen zu messen.

sehen, daſs mehre andere Erscheinungen die Hypothese einer Doppelbrechung im Terpenthinöl bestätigen.

Nachdem ich dasselbe Rohr in ein dunkles Zimmer gebracht, richtete ich es auf einen Lichtpunkt, vor welchem ich eine Glassäule aufgestellt hatte, um das einfallende Licht zu polarisiren. Vor das andere Ende des Rohrs stellte ich, unter dem Winkel der vollständigen Polarisation, zwei unbelegte Glasplatten, die sehr wenig gegen einander neigten, um Fransen von hinreichender Breite hervorzubringen. Als ich nun das so reflectirte Licht mit einer Lupe untersuchte, erkannte ich das Daseyn dreier Fransensysteme, die sich berührten und etwas mit einander vermengten, da die Röhre nicht lang genug war.

Das System in der Mitte, entstanden aus der Superposition der Fransen, welche durch das Zusammentreffen der Strahlen von gleicher Refraction gebildet worden, war weit intensiver als die beiden anderen, die aus dem Zusammentreffen der Strahlen von entgegengesetzter Refraction hervorgingen. Das Licht war nicht lebhaft genug, um mich in diesen die Lage der dunklen Streifen erster Ordnung recht unterscheiden zu lassen; allein so weit ich es beurtheilen konnte, schien mir, daſs der Mittelpunkt jedes der beiden Systeme, zur Rechten und Linken, um sieben Fransenbreiten vom Mittelpunkt des mittlichen Systemes abstand. Aus einem anderen genaueren Versuch, dessen ich am Ende dieser Abhandlung erwähnen werde, geht hervor, daſs die durch dieses Rohr erzeugten schwachen Farben zur sechsten Ordnung gehörten.

Wenn das Daseyn einer Doppelbrechung im Terpenthinöl eine groſse Analogie zwischen dem Phänomen der Färbung dieses Oels und dem, welches dünne parallel der Axe geschnittene Krystallblättchen zeigen, herstellt, so weichen doch beide in mehrer Beziehung wesentlich von einander ab. Bei Krystallblättchen wird durch Dre-

hen des Kalkspathrhomboëders nur die Intensität der Farbe geändert, nicht die Natur derselben. Beim Terpenthinöl dagegen ändert dieselbe Drehung des Kalkspaths die Natur der Farbe, ohne deren Intensität zu schwächen. Endlich kann man die Röhre, welche das Oel enthält, um sich selber drehen, ohne daſs dieſs in der Natur oder Lebhaftigkeit der Farben irgend eine Aenderung hervorbringt; während, wenn man die Krystallplatte in ihrer Ebene dreht, die Farben stärker oder schwächer, bis zum vollen Weiſs, zurückgeführt werden.

Die sonderbare Modification, welche die vollständige Reflexion beim Azimut 45° dem polarisirten Lichte einprägt und ihm, bei Untersuchung mit einem Kalkspathrhomboëder, das Ansehen einer gänzlichen Depolarisation ertheilt, nimmt ihm jedoch bekanntlich nicht die Eigenschaft, Krystallblättchen zu färben. Diese Farben sind eben so lebhaft, wie die vom gewöhnlichen polarisirten Licht erzeugten, nur sind sie von anderer Art. Hier ist nun noch eine charakteristische Verschiedenheit zwischen der Wirkung der Krystallblättchen und der des Terpenthinöls. Das so modificirte Licht färbt sich nicht mehr in dem Oel, und scheint, bei dieser Probe, eben so vollständig depolarisirt, wie wenn man es unmittelbar durch ein Kalkspathrhomboëder geleitet hätte.

Vor das Ende einer $0^{m},5$ langen, mit Terpenthinöl gefüllten Röhre brachte ich ein Glasparallelepiped, in welchem die einfallenden, zuvor polarisirten Strahlen zwei vollständige Reflexionen erlitten, in einer Ebene, die um 45° gegen die der ursprünglichen Polarisation neigte. Als ich nun durch ein Kalkspathrhomboëder in das andere Ende der Röhre sah, erblickte ich keine Spur von Färbung mehr, sobald die Strahlen unter gehöriger Incidenz im Glasparallelepiped reflectirt worden waren. Dagegen entfaltete das polarisirte Licht, welches nicht diese Modification erlitten hatte, in derselben Röhre Farben von der gröſsten Lebhaftigkeit. Bergkrystall, senkrecht

Digitized by Google

gegen die Axe geschnitten, giebt unter diesen Umständen dieselbe Wirkung wie Terpenthinöl.

Da das polarisirte Licht, welches durch die doppelte Reflexion modificirt worden, sich nicht mehr in dieser Flüssigkeit färbt, so läſst die Analogie erwarten, daſs es mit dem oben beschriebenen Apparat nur ein einziges Fransensystem geben werde, und dieſs bestätigt auch die Erfahrung.

Es ist natürlich aus diesen beiden Versuchen zu schlieſsen, daſs das so modificirte Licht nur eine einzige Brechung im Terpenthinöl erleide. Um diese Folgerung zu bewahrheiten und mich zu versichern, daſs wirklich das zur Röhre austretende Licht dann nur noch ein einziges Fransensystem enthalte, lieſs ich es durch eine dünne Krystallplatte gehen, und ich sah, daſs es nun dieselben Farben entfaltete, wie wenn es nicht durch Terpenthinöl gegangen war, oder wenigstens wichen die Farben nur sehr wenig davon ab, und diese geringe Abweichung entsprang aus der eigenen Farbe der Flüssigkeit, wie man leicht erkannte, wenn man das einfallende Licht vor seiner ersten Polarisation durch das Oel gehen lieſs.

Ein anderer, recht merkwürdiger Versuch, welcher vielleicht noch besser beweist, daſs das Terpenthinöl in dem besagten Fall das Licht unverändert läſst, ist folgender: Wenn polarisirte Strahlen die zwei vollständigen Reflexionen unter dem Azimut 45° gegen die Ebene der ursprünglichen Polarisation erlitten haben, und man unterwirft sie dann abermals zwei solchen Reflexionen in einem zweiten Glasparallelepiped, so nehmen sie alle Eigenschaften der vollkommenen Polarisation wieder an. Es ist dieſs eine Erscheinung, die sich nach der in meiner letzten Abhandlung entwickelten Theorie leicht erklärt. Nun findet dasselbe Phänomen noch statt, wenn man ein mit Terpenthinöl gefülltes Rohr, wie lang es auch sey, zwischen die beiden Glasparallelepipede bringt. Mit-

hin sind die Modificationen, die den einfallenden Strahlen eingeprägt wurden, nicht durch die Dazwischenstellung der Flüssigkeit verändert worden.

Wenn man das Glasparallelepiped, statt am vorderen Ende der Röhre, auf Seite des Auges anbringt, so wird das polarisirte Licht nach dem Durchgang durch das Oel zweimal in dem Parallelepiped reflectirt und zeigt nun die Kennzeichen eines Lichtbündels, der durch ein dünnes, mit der Axe paralleles Krystallplättchen gegangen wäre. Denn wenn man das Kalkspathrhomboëder dreht, ändert man nicht mehr die Natur, sondern bloſs die Intensität der Farben, die in den beiden auf seinem Hauptschnitt rechtwinklichen Richtungen, wenn dieser Schnitt um 45° gegen die Ebene der ursprünglichen Polarisation neigt, in vollkommenes Weiſs übergehen. Dagegen erreichen die Farben den höchsten Grad ihrer Lebhaftigkeit, sobald der Hauptschnitt des Rhomboëders parallel oder winkelrecht zu jener Ebene ist. Was die Natur derselben betrifft, so hängt sie von der Lage des Glasparallelepipedes ab, und sie ist genau die der Farben, welche man direct ohne dessen Dazwischensetzung erhalten würde, wenn man den Hauptschnitt des Rhomboëders in dasselbe Azimut stellte.

Modificirt man solchergestalt durch die doppelte vollständige Reflexion das durch das Terpenthinöl gegangene Licht, so kann man die Wirkungen dieser Flüssigkeit mit denen eines der Axe parallelen Krystallblättchens combiniren, wie man die Effecte zweier solcher Blättchen unter einander combinirt. Allein damit die Addition oder Subtraction der Farben auf eine ganz ähnliche Weise vor sich gehe, damit z. B. bei einem Blättchen von gehöriger Dicke eins der Bilder vollständig verschwinde, muſs die Ebene der doppelten Reflexion in ein gewisses, von der Länge der Röhre abhängiges Azimut gedreht seyn. Dieses Azimut ist in dem besonderen Fall der vollständigen Compensation dasjenige, welches

dieselbe Farbe giebt wie das Krystallblättchen. Wenn die Axe des Blättchens sich links von der Ebene der doppelten Reflexion befindet, addiren sich die Farben; befindet es sich aber rechts davon, so subtrahiren sie sich. Das Umgekehrte findet statt bei einer Flüssigkeit wie das Citronenöl, dessen polarisirende Wirkung in entgegengesetzter Richtung wie die des Terpenthinöls geschieht.

In der letzten Abhandlung, welche ich der Academie zu überreichen die Ehre hatte, beschrieb ich einen Apparat, mittelst dessen man, mit einem der Axe parallelen Krystallblättchen, die Farbenerscheinungen des Terpenthinöls und der winkelrecht gegen die Axe geschnittenen Bergkrystallplatten nachahmen kann. Er besteht aus zwei Glasparallelepipeden in rechtwinklicher Stellung mit einem Krystallblättchen dazwischen, so dafs das polarisirte Lichtbündel sowohl vor Eintritt in das Blättchen, als nach dem Austritt die doppelte Reflexion erleidet, allein im zweiten Falle in winkelrechter Ebene zu dem ersten, indem diese beiden Ebenen um 45° gegen die Krystallaxe neigen. Das System aus den beiden so vereinigten Glasparallelepipeden und dem Krystallblättchen besitzt die sonderbare Eigenschaft, dafs man es zwischen den beiden äufseren Polarisationsebenen drehen kann, wie eine gegen die Axe winkelrechte Bergkrystallplatte, ohne weder die Natur, noch die Intensität der Farben zu ändern; während man, wenn man eine dieser Ebenen gegen die andere dreht, alle die verschiedenen Farben erhält, welche in demselben Falle eine winkelrecht gegen die Axe geschnittene Bergkrystallplatte und das Terpenthinöl zeigt.

Noch mehr: wenn man das einfallende Licht die doppelte vollständige Reflexion in einer um 45° gegen die ursprüngliche Polarisationsebene geneigten Ebene erleiden läfst, so färbt es sich nicht mehr beim Durchgang durch diesen Apparat, in welches Azimut es auch gedreht sey; und wenn es diese Modification, statt vor Eintritt

in diesen Apparat, nach Austritt aus demselben empfängt, so nimmt es ebenfalls, wie beim Terpenthinöl in ähnlichem Fall, dieselben Kennzeichen an, wie wenn es unmittelbar nach seinem Austritt aus dem Krystallblättchen mit einem Kalkspathrhomboëder aufgefangen wäre.

Wenn endlich das einfallende Licht, nachdem es vor dem Eintritt in diesen Apparat durch zwei aufeinanderfolgende Reflexionen vollständig depolarisirt worden ist, nach seinem Austritt noch zwei Mal in einem Glasparallelepiped vollständig reflectirt wird, so findet es sich auf den Zustand der vollkommenen Polarisation zurückgeführt, wie wenn man den Apparat fortgelassen oder statt seiner ein mit Terpenthinöl gefülltes Rohr genommen hätte. Es scheint also nach dieser Reihe zahlreicher und mannigfaltiger Thatsachen, daſs der beschriebene Apparat alle optischen Eigenschaften des Terpenthinöls besitze. Und wirklich hatte ich dieſs anfangs auch geglaubt; allein eine aufmerksamere Untersuchung zeigte mir, daſs zwischen beiden Arten von Erscheinungen ein beträchtlicher Unterschied vorhanden ist.

Nachdem ich am Ende einer mit Terpenthinöl gefüllten Röhre von $0^m,50$ Länge ein Glasparallelepiped solchergestalt angebracht hatte, daſs die durch dasselbe gegangenen Strahlen die doppelte vollständige Reflexion parallel der ursprünglichen Polarisationsebene erlitten, brachte ich das auſserordentliche Bild, welches violettroth war, durch Dazwischensetzung einer etwa $0^m,12$ dicken Gypsplatte zum Verschwinden, welche im auſserordentlichen Bilde fast dieselbe Farbe gab, d. h. das äuſserste Roth der zweiten Ordnung, oder das Purpur der dritten. Berechnete ich nun, nach der Theorie des eben besprochenen Apparats, aus dieser Angabe die scheinbare Drehung der Polarisationsebene der rothen Strahlen im Terpenthinöl, so fand ich einen fast doppelt so groſsen Winkel, wie Hr. Biot, der mir sein Resultat mittheilte, durch directe Messungen gefunden hatte. Um zu ent-

Digitized by Google

decken, wovon ein so groſser Unterschied herrühre, wollte ich die Reihe der vom Terpenthinöl erzeugten Farben von 0 bis 50 Centim. Länge beobachten. Nachdem ich die Röhre senkrecht gestellt und den Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders in der ursprünglichen Polarisationsebene befestigt hatte, lieſs ich das Oel langsam aus der Röhre flieſsen; mit Erstaunen sah ich das auſserordentliche Bild ein schwach gefärbtes Weiſs durchlaufen und endlich in Schwarz übergehen, ohne das Roth erster Ordnung zu zeigen.

Dieſs Roth ist von dem der zweiten Ordnung hinreichend verschieden, als daſs man es mit demselben verwechseln könnte; durch den bloſsen Anblick kann man erkennen, daſs dasjenige, welches 50 Centimetern Terpenthinöl entspricht, nicht das Roth erster Ordnung ist. Was überdieſs noch besser seinen Rang bestimmt, ist die Dicke der Krystallplatte, welche das auſserordentliche Bild verschwinden machte. Man wird vielleicht einwerfen, daſs, da dieses Verschwinden nur mittelst des Glasparallelepipeds stattfand, die doppelte Reflexion möglicherweise die vom Terpenthinöl erzeugte Farbe geändert und in der Ordnung der Ringe herabgerückt hätte. Allein, wenn man zugleich die directen und die reflectirten Bilder betrachtet, kann man sich zuvörderst überzeugen, daſs ihre Farbe durchaus dieselbe ist; zweitens beweisen Erfahrung und Theorie, daſs die doppelte Reflexion unter der Incidenz, welche die vollständige Depolarisation erzeugt, alle Strahlen in derselben Weise modificirt, und daſs, wenn sie im Allgemeinen das Intervall, welches zwei im entgegengesetzten Sinne polarisirte Wellensysteme trennt, verändert, diese Veränderung für jede Strahlenart proportional der Länge ihrer Vibrationen ist, so daſs sie die Farbe weder heben noch senken kann, und deren Rang alleinig abhängt vom Verhältniſs des constanten Theils des Intervalls zu den Längen der verschiedenen Lichtwellen. Es bleibt mithin gewiſs, daſs das auſser-

Digitized by Google

ordentliche Bild vom Schwarz zum Roth zweiter Ordnung übergeht, ohne das Roth erster Ordnung zu durchlaufen.

Dieser Gang der Farben, obwohl scheinbar so wunderlich und so im Widerspruch mit den Phänomenen bei den reflectirten Ringen, läſst sich sehr einfach durch die Annahme erklären, daſs die Doppelbrechung im Terpenthinöl nicht gleich ist für die Strahlen verschiedener Art, stärker für die, deren Vibrationen die kürzeren sind. Wie bekannt ist im Kalkspath die Doppelbrechung der violetten Strahlen stärker als die der rothen, und wahrscheinlich verhält es sich eben so in anderen Krystallen; allein diese Unterschiede sind zu gering im Verhältniſs zum Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem ordentlichen und dem auſserordentlichen Strahl. Deshalb haben wir bisjetzt vorausgesetzt, daſs das Intervall, welches die beiden Wellensysteme trennt, für die Strahlen verschiedener Farbe beinahe gleich sey. Allein wenn die Doppelbrechung wie im Terpenthinöl äuſserst schwach wird, oder die Geschwindigkeiten der ordentlichen und der auſserordentlichen Strahlen kaum um ein Milliontel von einander abweichen, so ist es sehr möglich, daſs die Dispersion der Doppelbrechung (wenn ich mich so ausdrükken darf) ein beträchtlicher Theil von der Doppelbrechung selbst ist. Aus einigen approximativen Messungen, die weiterhin in dieser Abhandlung angeführt sind, würde folgen, daſs die Doppelbrechung der äuſsersten violetten Strahlen ungefähr das Anderthalbfache von der der äuſsersten rothen Strahlen seyn müſste. Diese Hypothese scheint mir weder unwahrscheinlich, noch der Analogie zuwider, als daſs man sie nicht bis zum Aeuſsersten ausdehnen sollte, und wenn man sie annimmt, kann man die erwähnte sonderbare Anomalie erklären, die sonst unerklärlich scheint.

Leicht begreift man, daſs wenn das Intervall zwischen zwei Wellensystemen nicht mehr für alle Strahlen

Digitized by Google

gleich bleibt, wie in dem Phänomen der Farbenringe oder dem bei den dünnen Krystallblättchen, sondern mit der Länge der Lichtvibrationen sich ändert, alsdann der Gang der Farben ein ganz anderer seyn kann, weil dieſs Intervall desto gröſser ist als die Vibrationen kürzer sind, was das Verhältniſs zwischen seiner Länge und der der Lichtwellen doppelt variiren macht. Daher gelangt man zum Roth zweiter Ordnung, wenn das Intervall zwischen den beiden rothen Wellensystemen noch nicht das überschritten hat, welches das Roth erster Ordnung geben würde, wenn es in Strahlen von verschiedener Farbe dasselbe wäre.

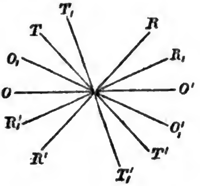
Diese Hypothese erlaubt auf die von homogenen Flüssigkeiten ausgeübte Polarisation die Theorie anzuwenden, welche ich in der früheren Abhandlung entwikkelt habe, um die Farben zu erklären, die eine zwischen zwei auf einander winkelrechte Glasparallelepipede eingeschaltete Krystallplatte erzeugt. Nach den innigen Beziehungen, die zwischen beiden Klassen von Erscheinungen vorhanden sind, ist es zu glauben natürlich, daſs sie aus denselben allgemeinen, den Lichtstrahlen eingeprägten Modificationen entspringen, und daſs der Unterschied, den sie in dem Farbengang zeigen, alleinig davon herrührt, daſs die Doppelbrechung nicht gleich ist in den flüssigen Theilchen für die verschiedenen Strahlen, während sie dagegen in der Krystallplatte beinahe constant ist.

Offenbar muſs man in der individuellen Constitution dieser Theilchen die Ursache der Farbenerscheinungen suchen, zu denen sie Anlaſs geben, weil sie von deren Anordnung unabhängig sind, und zugleich von deren Form dermaſsen abhängen, daſs, je nach der Natur der Flüssigkeit, das Licht sich, um mich eines Ausdrucks von Hrn. Biot zu bedienen, von der Linken zur Rechten, oder von der Rechten zur Linken dreht. Ich werde also voraussetzen, sie seyen so constituirt, daſs sie den durchgehenden Lichtstrahlen die Modificationen einprägen, wel-

Digitized by Google

che sie in dem oben erwähnten Apparat erleiden, d. h. daſs das Licht beim Eintritt in jedes Theilchen, und beim Austritt aus demselben dieselbe Modification erleide, welche ihm durch die doppelte vollständige Reflexion eingeprägt wird, und daſs es überdieſs im Innern des Theilchen die Doppelbrechung erfahre.

Zuvörderst will ich zeigen, wie aus dieser Hypothese hervorgeht, daſs die in einem so constituirten Theilchen ordentlich oder auſserordentlich gebrochenen Strahlen immer in ähnlichen Theilchen, die sie successiv durchlaufen, dieselbe Brechung erleiden, in welchen Azimuten auch die Axen dieser Theilchen liegen.



Sey $O\,O'$ der Hauptschnitt des ersten Theilchens, $R\,R'$ und $T\,T'$ die beiden Ebenen, die denen der doppelten Reflexion im Apparat entsprechen, und *Ein-* und *Austrittebene* heiſsen mögen; sie sind, zufolge der Hypothese, gegen einander rechtwinklich und gegen den Hauptschnitt um 45° geneigt. Sey $O_1\,O_1{}'$ der Hauptschnitt des zweiten vom Lichtbündel durchlaufenen Theilchen, und $R_1\,R_1{}'$ und $T_1\,T_1{}'$ die beiden Ebenen, nach welchen sie, beim Ein- und Austritt, die erwähnte Modification erleiden. Diese besteht, wie wir in der vorhergehenden Abhandlung ersehen haben, darin, daſs jedes Lichtbündel in zwei polarisirte Wellensysteme zerfällt, das eine parallel, das andere winkelrecht auf der Ebene, und das erstere um eine Viertelwelle gegen das zweite zurückstehend.

Betrachten wir nun den Theil des einfallenden Strahls, der im ersten Theilchen ordentlich gebrochen und nach $O\,O'$ polarisirt ist; sey er durch O bezeichnet. Beim Austritt aus dem Theilchen zerfällt er in zwei polarisirte Wellensysteme, das eine parallel, das andere winkelrecht

auf TT', und die Intensitäten, so wie die relativen Lagen derselben, werden vorgestellt durch die Ausdrücke:

$$\sqrt{\tfrac{1}{2}\,O_{\frac{1}{4}}} \qquad \sqrt{\tfrac{1}{2}\,O}$$
$$O.T. \qquad\qquad O.R.$$

Wie ich in der vorhergehenden Abhandlung bemerkt habe, sind nämlich, wenn ein Wellensystem in zwei andere zerfällt, die Geschwindigkeiten der Aethertheilchen in ihren Oscillationen nicht proportional dem Quadrate der Cosinus und Sinus des Winkels OCT, sondern einfach dem Sinus und dem Cosinus, so daſs nicht die Summe der Geschwindigkeiten, sondern die Summe der Quadrate der Geschwindigkeiten constant ist. Es ist dieſs eine Folge des Princips der Erhaltung der lebendigen Kräfte bei den Vibrationen elastischer Körper.

Durch Wirkung der Eintrittsebene $R_1 R_1'$ des zweiten Theilchens wird jedes dieser Lichtbündel in zwei andere Wellensysteme zerfällt, wodurch dann vier entstehen. Bezeichnet man mit p den Winkel OCO, den der Hauptschnitt des zweiten Theilchens mit dem des ersten macht, so werden die Intensitäten ihrer Vibrationen seyn:

$$\sqrt{\tfrac{1}{2}}.\sin p.O_{\frac{1}{4}}\,,\quad \sqrt{\tfrac{1}{2}}.\cos p.O_{\frac{1}{4}}\,,\quad \sqrt{\tfrac{1}{2}}.\cos p.O_{\frac{1}{4}}\,,\quad \sqrt{\tfrac{1}{2}}.\sin p.O.$$
$$O.T.R_1 \qquad O.T.T_1 \qquad O.R.R_1 \qquad O.R.T_1'.$$

Vermöge der Doppelbrechung dieses Theilchens zerfällt hierauf jedes dieser Bündel in zwei andere, polarisirt das eine parallel, das andere winkelrecht zur Ebene $O_1 O_1'$. Die Intensitäten der im zweiten Theilchen ordentlich gebrochenen Wellensysteme werden vorgestellt durch die Ausdrücke:

$$+\tfrac{1}{2}\sin p.O_{\frac{1}{4}}\,,\quad +\tfrac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}\,,\quad +\tfrac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}\,,\quad -\tfrac{1}{2}\sin p.O.$$
$$O.T.R_1.O_1 \qquad O.T.T_1.O_1 \qquad O.R.R_1.O_1 \qquad O.R.T_1'.O_1'.$$

Addirt man die Ausdrücke, die gleichen Charakter-Buchstab haben, und erwägt, daſs $\frac{1}{2}$ an diesem Buchstab dem Minuszeichen gleich kommt, so erhält man $-\sin p.O$ und $\cos p.O_{\frac{1}{4}}$. Die Resultante dieser beiden um eine Viertelwelle verschiedenen Wellensysteme ist nun

$$= \sqrt{O^2 \sin^2 p + O^2 \cos^2 p}$$

oder O. Die Wellen also, die aus der ordentlichen Brechung im ersten Theilchen entspringen, erleiden im zweiten wiederum insgesammt die ordentliche Brechung, weil in beiden der Hauptschnitt in Bezug auf die Eintrittsebene nach derselben Seite gewandt ist.

Man kann dieses Prinzip noch bewahrheiten, wenn man die Intensität des nach der Ebene $E_1 E_1'$, winkelrecht auf dem Hauptschnitt $O_1 O_1'$, polarisirten Lichts berechnet. Man findet für die vier constituirenden Bündel:

$$-\tfrac{1}{2} \sin p \,.\, O_{\frac{1}{2}} \text{ oder } +\tfrac{1}{2} \sin p \,.\, O \;,\quad +\tfrac{1}{2} \cos p \,.\, O_{\frac{1}{2}} \;,\quad -\tfrac{1}{2} \cos p \,.\, O_{\frac{1}{2}} \;,$$
$$O.T.R_1.E_1' \qquad\qquad O.T.T_1.E_1 \qquad O.R.R_1.E_1'$$

$$-\tfrac{1}{2} \sin p \,.\, O.$$
$$O.R.T_1'.E_1'.$$

Wie man sieht, sind die Ausdrücke mit gleichem Charakter-Buchstaben gleich und von entgegengesetztem Zeichen, so daſs diese vier Wellensysteme sich gegenseitig zerstören. Mithin kann keiner der ordentlichen Strahlen, die zum ersten Theilchen hinaustreten, die auſserordentliche Brechung im zweiten erleiden. Wenn man dieses umdreht, so daſs die Austritts- zur Eintrittsebene wird, so ist klar, daſs es sich in Bezug auf den Hauptschnitt auf derselben Seite befinden wird, und daſs folglich darin die Strahlen noch auf dieselbe Weise gebrochen werden.

Zu bemerken ist, daſs die eben gemachten Rechnungen und das dadurch gefundene Resultat unabhängig sind von den Intensitätsverhältnissen der von diesen Theilchen ausgeübten Doppelbrechungen, und daſs wir nur angenommen haben, diese Theilchen seyen in gleicher Weise constituirt, d. h. ihre Axen seyen in Bezug auf ihre Eintrittsebene nach gleicher Seite gewandt. Wie demnach auch die Neigung und selbst die Natur der verschiedenen successiv vom Licht durchlaufenen Theilchen beschaffen seyn mag, so werden doch die Strahlen, die ursprünglich die ordentliche oder auſserordentliche Brechung er-

litten haben, fortwährend in der ganzen Ausdehnung der Flüssigkeit dieselbe Art von Brechung erleiden. Die von uns angenommene Hypothese kann also erklären, wie es geschieht (was auf den ersten Blick schwierig zu begreifen scheint), daſs die von so unregelmäſsig geordneten Theilchen ausgeübte Doppelbrechung nicht mehr als zwei Lichtwellensysteme in der Flüssigkeit entwickelt.

Wenn die Flüssigkeit homogen ist, so addiren sich die Wirkungen aller Theilchen, und der Abstand zwischen den beiden Wellensystemen wächst im Verhältniſs zur Länge des Weges. Ist die Flüssigkeit zusammengesetzt aus zweierlei Arten von Theilchen, deren Axen jedoch in Bezug auf ihre Eintrittsebenen in gleicher Weise gedreht sind, so addiren sich ihre Effecte, wenn in beiden die raschere Brechung dieselbe ist; dagegen subtrahiren sie sich, wenn die rascheren Brechungen von entgegengesetzter Art sind. Das Umgekehrte findet statt, wenn die Theilchen ihre Axen, in Bezug auf ihre Eintrittsebenen, nach entgegengesetzten Seiten gewandt haben.

Man sieht auch, daſs das Gemenge irgend einer Anzahl verschiedenartiger Flüssigkeiten, deren Theilchen so beschaffen sind, auf das Licht dieselbe Wirkung ausüben muſs, welche dieses erfahren würde, wenn es nacheinander diese verschiedenen Flüssigkeiten durchliefe. Mithin kann das Problem in diesem allgemeinen Fall immer auf den besonderen einer homogenen Flüssigkeit zurückgeführt werden.

In der vorhergehenden Abhandlung, bei Entwicklung der Theorie des Apparats, welchen ich hier als Vorbild der Constitution der Theilchen nehme, habe ich bewiesen, daſs die Intensität und Lage der verschiedenen von ihm erzeugten Wellensysteme, vereinigt in irgend einer Polarisationsebene, unabhängig sind vom Azimut, in welches der Apparat gerichtet ist, und nur abhängen von der gegenseitigen Neigung der beiden äuſsersten Polarisationsebenen. Man kann also alle Flüssigkeitstheilchen

Digitized by Google

so gedreht annehmen, daſs ihre Hauptschnitte einander parallel sind. Betrachtet man dann eins dieser Theilchen, das zwischen zwei anderen liegt, so sieht man, daſs es seine Eintrittsebene winkelrecht hat auf der Austrittsebene des vorhergehenden, und somit den von diesem erzeugten Unterschied einer Viertelwelle vernichtet. Eben so ist seine Austrittsebene winkelrecht auf der Eintrittsebene des folgenden Theilchen, durch welches mithin die von ihm dem Licht eingeprägte Modification zerstört wird. Man kann also im Gedanken alle intermediären Ein- und Austrittsebenen fortlassen und braucht bloſs die Eintrittsebene des ersten Theilchens und die Austrittsebene des letzten beizubehalten. Es ist dann klar, daſs die von mir für den Apparat berechnete Formel auf die Flüssigkeit anwendbar ist.

Bezeichnet man demnach mit o und e die Anzahl der ordentlichen und auſserordentlichen Undulationen in der Flüssigkeit, und mit i den Winkel zwischen der ursprünglichen Polarisationsebene und dem Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders, welches zur Hervorrufung der Farben dient, so hat man als allgemeinen Ausdruck für die Intensität der Lichtschwingungen im ordentlichen Bilde

$$F\sqrt{\tfrac{1}{2}+\tfrac{1}{2}\cos[2i-2\pi(e-o)]} \text{ oder } F.\cos[i-\pi(e-o)]$$

und im auſserordentlichen Bilde

$$F\sin[i-\pi(e-o)],$$

wenn F die Intensität des einfallenden Bündels bezeichnet.

Diese Formeln sind für den Fall berechnet, daſs die Axe der zwischen den beiden Glasparallelepipeden befindlichen Krystallplatte rechts von der ersten Ebene der doppelten Reflexion liege; sie gelten also für Flüssigkeiten, deren Theilchen ihren Hauptschnitt rechts von der Eintrittsebene haben. Im umgekehrten Fall werden die Formeln

für das ordentliche Bild: $F\cos[i+\pi(e-o)]$,
- das auſserordentliche Bild: $F\sin[i+\pi(e-o)]$.

Hr. Biot hat gefunden, daſs der Winkel, um welchen

Digitized by Google

chen man den Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders drehen muſs, damit dieselbe Strahlenart aus dem auſserordentlichen Bilde verschwinde, proportional ist dem in der Flüssigkeit durchlaufenen Wege. Dieſs merkwürdige Gesetz ist eine unmittelbare Folge aus den obigen Formeln. Die betrachtete Strahlenart wird nämlich im auſserordentlichen Bilde Null seyn, wenn man hat

$$i \pm \pi (e - o) = 0 \text{ oder } i = \pm \pi (e - o),$$

wo die oberen Zeichen für den Fall gelten, daſs die Theilchen ihren Hauptschnitt rechts von ihrer Eintrittsebene haben, und die unteren Zeichen für den entgegengesetzten Fall. Aber e und o sind proportional dem in der Flüssigkeit durchlaufenen Weg, mithin muſs auch der Winkel i ihm proportional seyn.

Setzt man $e > o$, so wird der erste Werth von i positiv und der zweite negativ. Da in den Rechnungen die Winkel von links nach rechts gezählt sind, so muſs man aus diesen Werthen von i schlieſsen, daſs das Licht sich im ersten Fall von links nach rechts, und im zweiten von rechts nach links drehen werde, zufolge Hrn. Biot's Ausdruck, der das Aeuſserliche der Erscheinung am einfachsten bezeichnet. Nimmt man dagegen $e < o$ an, so wird das Licht sich von der Linken zur Rechten drehen, wenn der Hauptschnitt der Theilchen links von ihrer Eintrittsebene ist, und von der Rechten zur Linken, wenn diese Ebene links vom Hauptschnitt liegt.

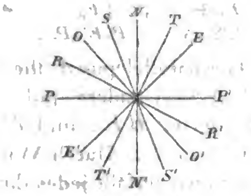
Hienach ist klar, daſs wenn das Licht folgweise zwei Flüssigkeiten durchläuft, die das Licht in entgegengesetztem Sinne drehen, die Wirkungen der einen auf jede Strahlenart sich subtrahiren von denen der anderen, so daſs man, bei einem homogenen Lichte, immer das auſserordentliche Bild vollständig zum Verschwinden bringen kann, wenn man eine der Röhren gehörig verkürzt oder verlängert. Es könnte indeſs geschehen, daſs beim weiſsen Lichte diese Compensation unmöglich wäre, wenn für die verschiedenen Strahlen die Veränderungen der

Doppelbrechung nicht dasselbe Gesetz in beiden Flüssigkeiten befolgten, weil dann das Verhältniſs der Längen, welche für eine Strahlenart eine genaue Compensation bewirkten, diese nicht für eine andere hervorbrächten.

Um die eben entwickelte Theorie zu vollenden, habe ich noch zwei zu Anfange dieser Abhandlung beschriebene Phänomene zu erklären. Wenn das polarisirte Licht, vor dem Durchgang durch das Terpenthinöl, im Azimut 45° die Modification empfangen hat, die ihm die doppelte vollständige Reflexion einprägt, so entwickelt es in dem Oel keine Farben mehr; und wenn es diese Modification nach dem Austritt aus der Röhre empfängt, so bleiben, beim Drehen des zur Beobachtung dienenden Kalkspathrhomboëders, die Farben beider Bilder constant, und nur die Intensität verändert sich, geht bis zum vollen Weiſs, wie die Farben der parallel der Axe geschnittenen Krystallblättchen.

Der Grund der ersten Erscheinung ist sehr einfach: das Licht erleidet alsdann in der Flüssigkeit nur eine einzige Brechung. Wirklich haben wir gesehen, daſs die parallel oder winkelrecht zum Hauptschnitt eines Theilchens polarisirten Strahlen, nachdem sie beim Austreten aus demselben die erwähnte Modification erlitten haben, nicht mehr als eine einzige Brechung im folgenden Theilchen erleiden können. Das so modificirte polarisirte Licht kann also im Terpenthinöl nur auf eine einzige Weise gebrochen werden, und kann demgemäſs nur ein einziges Wellensystem erzeugen.

Ich will mich jetzt mit dem Fall beschäftigen, wo das Licht diese Modification erst nach dem Austritt aus der Röhre empfängt. Sey PP' die ursprüngliche Polarisationsebene. Wie wir gesehen ist die Wirkung der Theilchen auf die Lichtschwingungen immer dieselbe, in welches Azimut sie ihre Axen auch gedreht haben mögen. Wir können also annehmen, ihre Hauptschnitte seyen 45° gegen die ursprüngliche Polarisationsebene ge-



dreht, so daſs also ihre Ein- oder Austrittsebenen mit dieser Ebene zusammenfallen. Ich werde z. B. annehmen, daſs es mit den Eintrittsebenen der Fall sey. Nachdem man sonach alle Hauptschnitte in dieselbe Richtung gedreht hat, kann man alle Ein- und Austrittsebenen sich fortdenken, mit Ausnahme der ersten und letzten. Die erste fällt, der Hypothese nach, mit PP' zusammen, und die letzte, in der Figur mit NN' bezeichnet, ist auf ihr winkelrecht. Sey RR' die Ebene, in welcher das Licht im Glasparallelepiped zweimal reflectirt wird, nachdem es das Terpenthinöl durchlaufen hat; endlich sey SS' der Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders, mit welchem man die Farben hervorruft. Ich bezeichne den Winkel PCR durch r, und den Winkel PCS durch i.

Da die Ebene des Eintritts mit der der ursprünglichen Polarisation zusammenfällt, so modificirt sie das Licht nicht. Durch die Doppelbrechung der Theilchen zerfällt es in zwei Wellensysteme, von denen das eine nach dem Hauptschnitt OO', und das andere nach der winkelrechten Ebene EE' polarisirt ist. Bezeichnet man mit F die Geschwindigkeit der Aethertheilchen in den Schwingungen des einfallenden Bündels, so sind die Geschwindigkeiten derselben in den ordentlichen und auſserordentlichen Wellen:

$$\sqrt{\tfrac{1}{2}}\,.\,F_o \quad \text{und} \quad \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,.\,F_e$$
$$P.O \qquad\qquad P.E'.$$

o und e bezeichnen immer die Anzahl der ordentlichen und auſserordentlichen Undulationen, die von der betrachteten Strahlenart im Terpenthinöl ausgeführt werden. Durch Wirkung der Austrittsebene NN' theilt sich jedes dieser Bündel in zwei andere, was dann im Ganzen die folgenden vier Bündel giebt:

Digitized by Google

$\frac{1}{2}F_0 + \frac{1}{4}$,	$\frac{1}{2}F_0$,	$\frac{1}{2}F_e + \frac{1}{4}$,	$\frac{1}{2}F_e$
$P.O.N$	$P.O.P$	$P.E'.N'$	$P.E'.P.$

Die doppelte Reflexion im Glasparallelepiped theilt hierauf jeden dieser vier Bündel in zwei andere, polarisirt das eine nach der Reflexionsebene RR', und das andere nach der winkelrechten Ebene TT'. Durch Wirkung des Kalkspathrhomboëders endlich zerfällt jedes dieser acht Bündel wiederum in zwei, die zum Hauptschnitt SS' parallel und winkelrecht polarisirt sind. Es ist hinreichend, diejenigen zu betrachten, die zur Entstehung eines der Bilder, z. B. des ordentlichen, beitragen. Ihre Intensitäten haben folgende Ausdrücke:

$P.O.N.R.S$	$+\frac{1}{2}\sin r . \cos(i-r) . F_0 + \frac{1}{2}$
$P.O.N.T.S$	$+\frac{1}{2}\cos r . \sin(i-r) . F_0 + \frac{1}{4}$
$P.O.P.R.S$	$+\frac{1}{2}\cos r . \cos(i-r) . F_0 + \frac{1}{4}$
$P.O.P.T'.S'$	$-\frac{1}{2}\sin r . \sin(i-r) . F_0$
$P.E'.N'.R'.S'$	$-\frac{1}{2}\sin r . \cos(i-r)\, F_e + \frac{1}{2}$
$P.E'.N'.T'.S'$	$-\frac{1}{2}\cos r . \sin(i-r)\, F_e + \frac{1}{4}$
$P.E'.P.R.S$	$+\frac{1}{2}\cos r . \cos(i-r)\, F_e + \frac{1}{4}$
$P.E'.P.T'.S'$	$-\frac{1}{2}\sin r . \sin(i-r)\, F_e$

Addirt man die Ausdrücke, welche denselben Charakterbuchstaben haben, und erwägt, daſs $\frac{1}{2}$ an diesem dem Minuszeichen gleich kommt, so reduciren sich diese acht Bündel auf die vier:

$$-\tfrac{1}{2}\sin r\,[\cos(i-r)+\sin(i-r)]\,F_0$$
$$+\tfrac{1}{2}\cos r\,[\cos(i-r)+\sin(i-r)]\,F_0+\tfrac{1}{2}$$
$$+\tfrac{1}{2}\sin r\,[\cos(i-r)-\sin(i-r)]\,F_e$$
$$+\tfrac{1}{2}\cos r\,[\cos(i-r)-\sin(i-r)]\,F_e+\tfrac{1}{2}$$

Beim Anblick dieser Formeln sieht man zunächst, daſs das Bild in Weiſs übergeht, sobald $i-r=45^\circ$, weil alsdann die beiden letzten Bündel verschwinden, folglich die Intensität des Lichts unabhängig wird von dem Unterschied zwischen e und o und gleich ist für jede Strahlenart. Dagegen erreicht die Farbe des Bildes den höchsten Grad von Lebhaftigkeit, sobald $i-r$ gleich 0° oder 90°, d. h. sobald der Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders gegen die Ebene der doppelten Re-

Digitized by Google

flexion parallel oder winkelrecht ist, denn alsdann werden die Ausdrücke, deren Charakterbuchstab eine Function von e ist, gleich denen, deren Charakterbuchstab o enthält.

Es ist auch leicht zu sehen, daſs die Drehung des Rhomboëders, d. h. die Variationen von i, die Natur der Farbe nicht ändern dürfen. Betrachten wir nämlich die Resultante der beiden ersten Wellensysteme: Da die Variationen von i nur den gemeinschaftlichen Factor $\cos(i-r) + \sin(i-r)$ afficiren, so können sie nicht die Lage dieser Welle, sondern nur die Intensität derselben ändern. Aus demselben Grunde ändern diese Variationen auch nicht die Lage der aus den beiden andern Bündeln resultirenden Welle. Mithin erleidet das Intervall zwischen diesen beiden Resultanten, welches allein die Natur der Farbe bedingt, keine Aenderung während der Drehung des Rhomboëders.

Nicht so verhält es sich mit den Variationen von r; da sie auf die beiden ersten Bündel, von denen der eine mit $\sin r$, der andere mit $\cos r$ multiplicirt ist, ungleich einwirken, so verändern sie die Lage der Resultante derselben. Sie verändern auch die Lage der anderen Resultante, und zwar im umgekehrten Sinn, da das erste und das dritte Bündel gegen einander von entgegengesetztem Zeichen sind. Dieſs wird noch einleuchtender, wenn man die totale Resultante dieser vier Wellensysteme berechnet. Man findet für die Intensität ihrer Vibrationen den allgemeinen Ausdruck:

$$F\sqrt{\tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2}\left[\cos^2(i-r) - \sin^2(i-r)\right]\cos\left[2r - 2\pi(e-o)\right]}$$

oder

$$F\sqrt{\tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2}\cos 2(i-r)\cos\left[2r - 2\pi(e-o)\right]}.$$

Nach dieser Formel ist klar, daſs die Variationen von i nur auf die Intensität der Farbe einwirken [1]), während

1) Das Maximum der Farbe entspricht $i = r$, wie schon aus dem bloſsen Anblick der constituirenden Bündel hervorging. Die Formel wird dann

$$F\sqrt{\tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2}\cos\left[2r - 2\pi(e-o)\right]} \text{ oder } F.\cos\left[r - \pi(e-o)\right].$$

Digitized by Google

rend die von r deren Natur verändern. Wenn z. B. r gleich 45° wird $\cos[2r-2\pi(e-o)]$ zu $\cos 2\pi[\frac{1}{4}-(e-o)]$ und die Farbe des Bildes wird diejenige, die in dem Abstand $e-o$ zwischen beiden Wellensystemen einer Viertelundulation entspricht. Wenn dagegen r gleich Null ist, entspricht die Farbe genau dem Abstand $e-o$, und man könnte sie die Fundamentalfarbe nennen. Die Formel wird dann:

$$F\sqrt{\tfrac{1}{2}+\tfrac{1}{2}\cos 2i\,.\cos 2\pi(e-o)}.$$

Dieſs ist genau der allgemeine Ausdruck für die Intensität der Lichtstrahlen im ordentlichen Bilde für den besonderen Fall einer Krystallplatte, deren Axe gegen die ursprüngliche Polarisationsebene im Azimut 45° liegt. Wenn die vom Terpenthinöl auf die verschiedenen Strahlenarten ausgeübte Doppelbrechung beinahe constant wäre, wie in den Krystallen, so würde daraus folgen, daſs man ihre Wirkung auf das weiſse polarisirte Licht immer genau durch eine Krystallplatte von gehöriger Dicke compensiren könnte, wenn man das Parallelepiped so drehte, daſs die Ebene der doppelten Reflexion parallel wäre der ursprünglichen Polarisationsebene. Allein wir haben gesehen, daſs dem nicht so ist, daſs vielmehr der Gang der Fundamentalfarbe eine starke Veränderung der Doppelbrechung des Terpenthinöls mit der Länge der Lichtwellen anzeigt. Man begreift sogar, daſs das Gesetz dieser Variationen ein solches seyn könnte, daſs im weiſsen Lichte jede genaue Compensation unmöglich würde.

Um die nöthigen Bedingungen zu dieser Compensation deutlich einzusehen, wollen wir die Abstände zwischen den beiden Wellensystemen im Terpenthinöl und in der Krystallplatte, statt sie auf eine selbe Längeneinheit zu beziehen, vielmehr für jede Art von Lichtwelle in Function der Länge dieser Welle ausdrücken. Klar

Mithin ist die Farbe genau dieselbe, welche man, bei derselben Lage des Kalkspathrhomboëders, vor der Dazwischensetzung des Glasparallelepipeds beobachten würde.

ist, daſs wenn die Unterschiede zwischen den Zahlen, welche diese Verhältnisse für das mit Terpenthinöl gefüllte Rohr ausdrücken, gleich sind den Unterschieden zwischen den entsprechenden Zahlen in der Krystallplatte, die Compensation genau möglich ist; denn es folgt aus dieser Hypothese, daſs die Zahlen für die Krystallplatte gleich sind denen für die Röhre, plus einer selben Zahl, die im Allgemeinen eine gebrochene ist. Nun kann man alle ganzen Einheiten fortlassen, und nur den übrigbleibenden Bruch betrachten, da dieser die einzige Gröſse ist, welche sich der genauen Compensation widersetzt. Allein aus der Formel:

$$F\sqrt{\tfrac{1}{2}+\tfrac{1}{2}\cos 2(i-r)\cos[2r-2\pi(e-o)]}$$

sieht man, daſs es durch den Werth, welchen man r giebt, immer möglich ist, den beabsichtigten Bruch in die Parenthese $2r-2\pi(e-o)$ einzuführen, und somit diese letztere Discordanz zu heben. Es ist also dieser letztere Bruch, welcher das Azimut bedingt, in welches man die Ebene der doppelten Reflexion drehen muſs, um eins der Bilder vollständig verschwinden zu machen.

Nach einigen Versuchen der Art, denen ich jedoch nicht ganz die Genauigkeit geben konnte, deren sie fähig sind, schien mir, daſs die erwähnte Bedingung beinahe im Terpenthinöl erfüllt sey; denn ich beobachtete, so weit ich wenigstens beurtheilen konnte, daſs eins der Bilder vollständig verschwand.

Der erste Versuch, den ich machte, ist der zu Anfang dieser Abhandlung erwähnte. Nachdem ich ein $0^m,50$ langes Rohr mit Terpenthinöl gefüllt hatte, befestigte ich an seinem hinteren Ende ein Glasparallelepiped, in welchem die ausfahrenden Strahlen die vollständige doppelte Reflexion nach einer der ursprünglichen Polarisationsebene parallelen Ebene erlitten. Als ich dann zwischen dieses Parallelepiped und das Kalkspathrhomboëder ein Gypsblättchen von etwa $0^m,12$ Dicke einschaltete und seine Axe rechts um 45^0 gegen die Ebene der

Digitized by Google

doppelten Reflexion neigte, verschwand das auſserordentliche Bild, welches Violettroth oder Purpur dritter Ordnung gezeigt hatte. Ein Gypsblättchen von $0^{mm},12$ Dicke entspricht nicht ganz dieser Farbe in Newton's Tafel; allein da man dieſs Blättchen winkelrecht gegen seine Axe ein wenig neigen muſste, um die vollkommene Verschwindung zu erhalten, so schätzte ich, daſs die $0^{m},50$ lange Röhre compensirt werden müſste durch ein Gypsblättchen, welches der Zahl 21 in der ersten Kolumne der Newton'schen Tafel entspricht. Berechnet man für die mittleren rothen Strahlen die Drehung der Polarisationsebene, welche ein solches zwischen zwei auf einander winkelrechten Glasparallelepipeden befindliches Blättchen bewirken würde, so findet man durch die Formel:

$$i = -\pi(e-o)$$

den gesammten Bogen 309°,6. Allein nach dem Gang der Farben, welche das Terpenthinöl von der Länge 0 bis zu der $0^{m},50$ zeigt, hat man gesehen, daſs in diesem Oel in dem Abstand zwischen den beiden Wellensystemen eine Welle weniger vorhanden seyn muſs. Nun entspricht eine Welle hier 180°; zieht man 180° von 309°,6 ab, so bleibt 129°,6, welches, durch 50 dividirt, 2°,59 giebt für die Drehung der rothen Strahlen in 1 Centimeter. Macht man dieselbe Rechnung für die anderen Strahlenarten, so findet man für die Drehungen, welche sie bei Durchlaufung von 1 Centimeter Terpenthinöl erleiden, folgende Werthe:

Orangenfarbene Strahlen		2°,99
Gelbe	-	3 ,36
Grüne	-	3 ,90
Blaue	-	4 ,48
Indigfarbene	-	4 ,96
Violette	-	5 ,49.

Nachdem ich eine Gypsplatte von $0^{mm},46$ Dicke an einem Glasparallelepiped befestigt hatte, brachte ich das-

Digitized by Google

selbe an das Ende eines mit Terpenthinöl gefüllten Apparats, dessen Länge ich verändern konnte. Durch doppeltes Probiren ermittelte ich, welche Länge die genaue Compensation hervorbrächte, und in welches Azimut man die Ebene der doppelten Reflexion bringen müſste, um eins der Bilder vollständig verschwinden zu machen. Ich fand für diese Länge $2^m,03$ und für das Azimut etwa 35^0 links von der Polarisationsebene; es war das ordentliche Bild, welches verschwand. Daraus folgt, daſs man, um die von dieser Röhre bewirkte Drehung zu erhalten, $90^0 - 35^0$ oder 55^0 abziehen müsse von der Drehung, die ein $0^m,46$ dickes Blättchen bewirken würde, und die für die mittleren rothen Strahlen $1145^0,8$ betrüge. Ueberdieſs muſs man eine ganze Zahl von halben Circumferenzen abziehen, die auch von dem Gangunterschied der vom Krystallblättchen und vom Terpenthinöl erzeugten Farben abhängt. Da mein Apparat nicht erlaubte sie von $0^m,50$ bis $2^m,03$ zu verfolgen, so berechnete ich diese Zahl aus dem vorigen Versuch, sicher, mich nicht um eine halbe Circumferenz zu irren. Ich sah dadurch, daſs man drei halbe Circumferenzen oder 540^0 abziehen müsse. Die Drehung der rothen Strahlen, erzeugt durch einen Weg von $2^m,03$ in Terpenthinöl ist also $550^0,8$; dividirt man diese Zahl durch 203, so erhält man für die Drehung der rothen Strahlen in einem Centimeter $2^0,71$ [1]). Dieſs Resultat stimmt sehr gut mit dem, welches Hr. Biot durch directe Messung der Winkel erhalten hat, wenigstens wenn es die *mittleren* rothen Strahlen waren, die in dem von ihm angewandten Lichte vorwalteten.

Macht man dieselbe Rechnung für die übrigen Strahlen, so findet man die folgenden Winkel:

1) Von diesen Daten ausgehend findet man, daſs die ordentlichen und auſserordentlichen rothen Strahlen in ihrer Geschwindigkeit nur um $\frac{1}{1573000}$ abweichen, und die ordentlichen und auſserordentlichen violetten nur um $\frac{1}{1170000}$; so daſs sich die Doppelbrechung der rothen Strahlen zu der der violetten wie 1 zu 1,34 verhält.

Orangenfarbene Strahlen		3°,07
Gelbe	-	3 ,42
Grüne	-	3 ,91
Blaue	-	4 ,44
Indigfarbene	-	4 ,87
Violette	-	5 ,35.

Diese Resultate weichen merklich ab von den Ergebnissen des vorhergehenden Versuchs, und die Grundlagen der Rechnung sind in der That ziemlich verschieden; denn wenn man, von den Daten der zweiten Beobachtung ausgehend, durch eine Proportion sucht, welche Länge von Terpenthinöl genau compensirt werden müsse durch ein Gypsblättchen, welches der Zahl 21 der ersten Spalte von Newton's Tafel entspricht, so findet man 0^{m},548 statt 0^{m},50.

Ungeachtet der Verschiedenheiten, die aus der gröſseren Länge des Apparats beim zweiten Versuche entspringen und Fehlerquellen seyn können, bin ich doch zu glauben geneigt, daſs die aus ihm hervorgehenden Resultate genauer sind als die ersten, nicht allein weil die Messungen und Beobachtungen an gröſseren Mengen angestellt wurden, sondern weil ich über die Vorsichtsmaaſsregeln zur Erreichung gröſserer Genauigkeit mehr nachgedacht hatte. Nichtsdestoweniger halte ich auch diese letzteren Resultate für nicht sehr genau, weil der Apparat nicht bequem genug eingerichtet war, um so zarte Beobachtungen mit Genauigkeit anzustellen [1]). Bevor ich die Ehre hatte diese Arbeit der Academie vorzulegen, wünschte ich den Versuch mit einem besser eingerichteten Apparat zu wiederholen und diese Winkel durch

1) Es schien mir, daſs die von 2^{m},03 Terpenthinöl erzeugten Farben etwas schwächer seyen als die einer 0^{m},46 dicken Lamelle. Beim Durchgang durch 2^{m},60 dieses Oels nimmt das polarisirte Licht noch eine merkliche Färbung an; dieſs scheint zwischen den Phänomenen und der Hypothese von einer vollkommenen Compensation durch Einschaltung eines Gypsblättchen eine kleine Verschiedenheit zu errichten.

Digitized by Google

directe Messungen der Drehung in homogenem Lichte zu bestätigen; allein andere Untersuchungen nöthigten mich sie, wenigstens auf einige Zeit, aufzugeben.

Ich habe gezeigt, wie man die verschiedenen Erscheinungen beim Terpenthinöl unterscheiden könne, wenn man annimmt, daſs jedes seiner Theilchen das Licht doppelt breche und ihm bei seinem Ein- und Austritt dieselbe Modification einpräge, welche es durch doppelte vollständige Reflexion im Innern durchsichtiger Körper empfängt. Die Definition dieser Modificationen ist beim gegenwärtigen Zustand der Theorie ziemlich complicirt. Es ist indeſs möglich, daſs im Grunde die Hypothese viel einfacher ist als sie zu seyn scheint. Gewiſs ist wenigstens, daſs die Erscheinungen nicht einfacher vorgestellt werden können als durch die allgemeine Formel:

$$F \cos [i \pm \pi (e-o)],$$

zu welcher mich die Hypothese geführt hat. Es scheint mir also sehr wahrscheinlich, daſs diese Formel wirklich der Ausdruck der Resultante aller verschiedenen Bewegungen der Lichtwellen im Terpenthinöl ist. Allein es ist möglich, daſs diese Elementarbewegungen nicht genau so geschehen, wie ich vorausgesetzt habe. Wie dem auch sey: die von mir entwickelte Theorie hat den Vortheil, die Färbung homogener Flüssigkeiten im polarisirten Licht auf gleiche Principien wie die der Krystallblättchen zurückzubringen; sie zeigt die Berührungspunkte von Phänomenen, die scheinbar so verschieden sind; und unter diesem Gesichtspunkt scheint sie einigen Nutzen für die Wissenschaft zu haben.

Digitized by Google

VIII. *Ueber die Reflexion des Lichts; von Augustin Fresnel.*

(Der Pariser Academie vorgelegt am 15. Nov. 1819. — *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XVII, p.* 316.)

Die Undulationstheorie giebt eine hübsche und genaue Idee von dem, was den Spiegelglanz ausmacht, wie ich schon in der ersten Abhandlung bemerkt habe, die ich der Academie vorzulegen die Ehre gehabt. Es folgt aus dem Interferenzprincip, daſs die Oberfläche eines Spiegels das Licht bei allen Einfallswinkeln regelmäſsig zurückwerfen muſs, sobald die Unebenheiten sehr klein sind in Bezug auf die Länge einer Lichtwelle. Allein da die Lichtwellen, welche die Empfindung der verschiedenen Farben hervorbringen, verschiedene Längen haben, so folgt aus dieser Definition des Glanzes (*poli*), daſs sie, um regelmäſsig zurückgeworfen zu werden, nicht alle denselben Grad von Kleinheit in den Unebenheiten zu haben brauchen; daſs eine Fläche, z. B. für die rothen Wellen, welche die längsten sind, noch etwas polirt seyn kann, wenn sie es gar nicht mehr für die violetten ist.

Es würde ohne Zweifel sehr schwierig seyn, das Schleifen eines Spiegels gerade bei dem Punkt einzuhalten, wo er noch, bei senkrechter Incidenz, ziemlich merklich die rothen Strahlen regelmäſsig reflectirte, und dagegen die Strahlen vom anderen Ende des Spectrums gänzlich zerstreute. Allein es giebt ein recht einfaches Mittel diese merkwürdige Folgerung aus der Theorie zu bewahrheiten, nämlich einen bloſs vorgeschliffenen (*douci*) Spiegel, den man allmälig gegen die einfallenden Strahlen neigt. Wie bekannt können Flächen, die nicht polirt, sondern bloſs geebnet sind, bei sehr schiefen Incidenzen regelmäſsige und helle Bilder von den Gegen-

ständen geben. Der Grund hievon ist, daſs die Schiefe die Unterschiede der Wege, welche von den an den aus- und einspringenden Theilchen der rauhen Oberfläche reflectirten Strahlen durchlaufen werden, verringert; und man begreift leicht, daſs, bei gewissen Neigungen, diese Wegunterschiede schon so klein gegen die Länge einer rothen Welle werden können, um eine anfangende regelmäſsige Reflexion der rothen Strahlen zu erlauben, während sie für die violetten Strahlen noch zu groſs sind, als daſs diese in merklicher Menge regelmäſsig reflectirt werden. Man erhält auf diese Weise, indem man die Schiefe der einfallenden Strahlen verändert, dieselben Effecte, welche man bei senkrechter Incidenz erhalten würde, wenn man den Grad der Politur allmälig veränderte; und man sieht bei einer gewissen Neigung das regelmäſsig reflectirte Bild eines weiſsen Gegenstands einen ziemlich deutlichen Stich in's Falbröthliche annehmen, wie Hr. Arago und andere Physiker schon bemerkt haben.

Ich habe die Erscheinung im dunklen Zimmer zerlegt, indem ich das Sonnenspectrum auf bloſs vorgeschliffene (*doucis*) Spiegel von Glas und Stahl fallen lieſs; so wie ich die Schiefe der Spiegel verringerte, sah ich folgweise das Violett, das Indig, das Blau und einen Theil des Grünen verschwinden; während das äuſserste Roth, weit dunkler als das Blau und dieser Theil des Grün in den einfallenden Strahlen, fortfuhr ein eben so deutliches Bild zu geben als das, welches aus der Reflexion der gelben und orangefarbenen Strahlen entsprang. Das nahe beim Gelb liegende Grün konnte ich nicht ganz zum Verschwinden bringen, ohne nicht zugleich den Rest des Bildes vom Sonnenspectrum zu vernichten. Man wird indeſs darüber nicht erstaunen, wenn man erwägt, daſs die grünen Wellen von den rothen nur etwa um ein Sechstel dieser verschieden sind, so daſs ein Unterschied von einer halben grünen Welle in den durchlaufenen Wegen ganz hin-

Digitized by Google

reicht, auch eine vollständige Discordanz zwischen den rothen Strahlen zu erzeugen.

Man sieht demnach, die Erfahrung bestätigt das Huyghens'sche Princip und das Interferenzprincip in allen Folgerungen, die man daraus ableiten kann, ohne die Gesetze des Gleichgewichts und der Anordnung der Körpertheilchen, über welche man noch keine positiven Kenntnisse hat, in Betracht nehmen zu dürfen. Diese Principien allein geben uns die Gesetze der Diffraction, wo die Körper, welche dieselbe veranlassen, keine andere Rolle spielen, als einen Theil der Lichtwellen aufzufangen und zu verzögern. Sie sind auch zur Erklärung der Refractions- und Reflexionsgesetze hinreichend, mag die reflectirende Fläche vollkommen oder im Groben polirt seyn, mag sie eine unbegränzte oder sehr beschränkte Ausdehnung haben, wenigstens was den Gang der Strahlen betrifft; denn die Intensitätsverhältnisse zwischen dem einfallenden und dem gebrochenen Strahl bei verschiedenen Schiefen sind noch nicht durch die Undulationstheorie bestimmt. Offenbar muſs dieses Verhältniſs abhängen vom Brechungsvermögen des Mittels, an dessen Oberfläche die Reflexion geschieht, allein man kennt noch nicht die Form der Function, welche diese Relation ausdrückt. Um dieſs schwierige Problem zu lösen, müſste man zuvörderst alle Ursachen der Refraction kennen, oder, was auf dasselbe hinausläuft, alle Ursachen der Verkürzung der Lichtwellen in dem brechenden Mittel. Alles was man weiſs ist: daſs jede Wellenart offenbar eine gleiche Länge in einem selben Mittel haben muſs, in welcher Richtung sie auch dieſs Mittel durchläuft, sobald nur dieses homogen ist und nicht, wie die krystallisirten Substanzen, eine regelmäſsige Anordnung seiner Theilchen besitzt. Diese Beständigkeit der Wellenlänge in einem selben Mittel reicht hin zur Erklärung des einzig bekannten Refractionsgesetzes, des constanten Verhältnisses zwischen Einfalls- und Brechungssinus.

Digitized by Google

Allein, was ist die Urſache der Verkürzung der Lichtwellen in dichten Körpern? Ist es bloſs eine gröſsere Dichte des darin enthaltenen Aethers, oder eine der Körpertheilchen oder beide zugleich?

An der Richtigkeit der ersten Hypotheſe, die ich anfangs annahm, weil den Folgerungen aus ihr leichter nachzugehen ist, habe ich schon lange Zeit gezweifelt. Erwägend, wie beträchtlich die Abstoſsungskraft der Aethertheilchen gegen die Maſse derſelben ist, habe ich es für wenig wahrscheinlich gehalten, daſs die Anziehung der wägbaren Körper die Dichtigkeit des Aethers merklich vergröſsern könnte; denn man muſs wohl annehmen, daſs auch die Körpertheilchen eine Abstoſsungskraft beſitzen, welche, der Analogie nach, auf die Aethertheilchen ungemein viel stärker abstoſsend wirken muſs, als auf die wägbaren Theilchen, bei denen dieſe Abstoſsung durch eine mächtige Anziehung aufgewogen wird. Ueberdieſs würde ſelbst die Annahme einer gröſseren Dichte des Aethers in den brechenden Mitteln nicht hinreichen, um die Dispersion des Sonnenspectrums und die Doppelbrechung zu erklären, wo die Natur und die Anordnung der wägbaren Theilchen einen nicht zu verkennenden Einfluſs ausüben.

Allein, wird man ſagen, ist es nicht möglich, daſs ſie eine weſentliche Rolle bei dieſen ſecundären Phänomenen spielen, während die gröſsere Dichte des Aethers die Haupturſache der Refraction und folglich auch der Reflexion wäre? Dieſs ist gerade die Frage, die ich mir lange aufwarf, und die ich durch die eben beendeten Verſuche auf eine negative Weiſe beantwortet zu haben glaube.

Dieſe beiden Anſichtsweiſen von der Reflexion führen in mehren Fällen zu ähnlichen Folgerungen, z. B. bei den Farbenringen.

Eine dünne Schicht zwiſchen zwei Mitteln von stärkerer Brechkraft, z. B. eine Luft- oder Waſſerschicht

zwischen zwei Gläsern, zeigt bekanntlich in dem Berührungspunkt beider Mittel, d. h. da, wo die Dicke der Schicht Null ist, einen schwarzen Fleck. Die reflectirten Ringe entspringen aus der Interferenz der beiden Wellensysteme, die an der Vorder- und Hinterfläche der Schicht zurückgeworfen werden; es scheint also auf den ersten Blick, sie müſsten im Berührungspunkt im Einklang stehen, weil daselbst der Unterschied der durchlaufenen Wege Null ist, und es müſste also das Centrum der Ringe, statt von einem schwarzen Fleck, von einem weiſsen eingenommen seyn. Allein eine achtsame Untersuchung der Frage zeigt vielmehr, daſs daselbst ein Punkt des vollen Miſsklang ist, was für eine der beiden Hypothesen über den Vorgang bei der Reflexion man auch annehmen möge.

In der That, nimmt man an, die Reflexion entspringe aus einer gröſseren Dichte des im brechenden Mittel enthaltenen Aethers, so wird man annehmen müssen, die Strahlen seyen an der Trennungsfläche der beiden anliegenden Mittel selbst reflectirt, und folglich sey der Unterschied der durchlaufenen Wege für die an der ersten und an der zweiten Fläche der dünnen Schicht reflectirten genau da Null, wo auch die Dicke der Schicht Null ist. Allein aus derselben Betrachtungsweise der Reflexion folgt, daſs der Ausdruck für die Oscillationsgeschwindigkeit der Aethertheilchen in den an der Trennungsfläche beider Mittel reflectirten Wellen im Zeichen verschieden ist, je nachdem das zweite Mittel stärker oder schwächer bricht als das erste. Dieſs hat Hr. Young durch sehr einfache mechanische Betrachtungen entdeckt, und seitdem Hr. Poisson strenger durch eine gelehrte Analyse erwiesen, in einer schönen Abhandlung über die Bewegung elastischer Flüssigkeiten.

Betrachtet man also, um die Ideen zu fixiren, den gewöhnlichen Fall: eine Luftschicht zwischen zwei Gläsern, so sieht man, daſs, die durchlaufenen Wege bei

Sei-

Digitized by Google

Seite gelassen, die an der Vorder- und an der Hinterfläche der Schicht reflectirten Strahlen in ihrer Oscillationsgeschwindigkeit vom entgegengesetzten Zeichen seyn müssen, weil die ersteren in einem dichteren Mittel an der Oberfläche eines lockeren Mittels, und die anderen in einem lockeren Mittel an der Oberfläche eines dichtereren reflectirt worden sind. Die Entgegengesetztheit des Zeichens deutet aber entgegengesetzte Oscillationsbewegungen an; sie erklärt also diesen von den durchlaufenen Wegen unabhängigen Unterschied von einer halben Welle, welchen die Erfahrung nachweist, und welcher, weit entfernt ein Einwurf gegen die Theorie zu seyn, vielmehr gerade eine Bestätigung derselben ist.

Dieselbe Theorie hat noch den Vorzug, im Voraus anzugeben, in welchem Fall der mittliche Fleck weiſs seyn muſs, nämlich dann, wenn das Mittel zwischen zwei andern von ungleicher Brechkraft befindlich ist und eine intermediäre Brechkraft besitzt. Ist die seinige stärker als die der beiden äuſseren, so wird der Berührungspunkt schwarz, wie wann sie schwächer ist. Dieſs ist nach dem eben angezeigten Princip einleuchtend.

Hr. Young hat diese von ihm aus der Theorie abgeleitete Folgerungen durch Erfahrung bestätigt, indem er Sassafrasöl zwischen zwei schwach convexe Prismen brachte und diese bis zur Berührung aneinander preſste. Sind diese beiden Prismen von gewöhnlichem Glase, welches weniger brechend als das Sassafrasöl ist, so ist der mittliche Fleck schwarz; ist aber eins der Prismen von gewöhnlichem Glase und das andere von Flintglas, einem stärker als das Sassafrasöl brechenden Mittel, so ist dieser Fleck immer weiſs, mag das Flintglasprisma oben oder unten seyn. Ich weiſs nicht, wie das Emissionssystem über diese merkwürdigen Erscheinungen Aufschluſs geben könnte, während ihre Erklärung nach der Undulationstheorie so befriedigend ist.

Wir sahen so eben, daſs sie mit unserer ersten Hy-

pothese übereinstimmen, der gemäſs die Reflexion alleinig aus der gröſseren Dichte des Aethers in den brechenden Mitteln entspringen würde. Allein sie vertragen sich eben so gut mit der, welche die gesammte Reflexion den elementaren Reflexionen an den Körpertheilchen selber zuschreibt.

In dieser zweiten Hypothese begreift man leicht, weshalb die Reflexion an den eignen Theilchen der Körper nur in der Nachbarschaft der Oberfläche dieser in merklicher Weise statt haben kann, sobald die Zwischenräume, welche die Theilchen trennen, sehr klein sind gegen die Länge einer Lichtwelle. Denn theilt man im Gedanken das Innere der Körper in sehr dünne Schichten, in Schichten von solcher Dicke, daſs die von den Theilchen irgend einer Schicht reflectirten Strahlen sich in völligem Miſsklang mit denen befinden, welche die beiden angränzenden Schichten reflectiren, so sieht man, daſs die elementaren Reflexionen, welche die Theilchen jeder Schicht zu erzeugen trachten, zerstört werden durch die Hälfte der Strahlen von der vorderen und von der hinteren Schicht, ausgenommen an der Oberfläche des Mittels, wo die äuſserste Schicht somit nur die Hälfte der Intensität der Strahlen verliert. Klar ist, daſs der Ausgangspunkt der Resultante aller durch ihre Theilchen reflectirten Elementarwellen in der Mitte liegen muſs, sobald sie hinreichend durchsichtig ist, damit die bis zu verschiedenen Tiefen eindringenden Strahlen beinahe dieselbe Intensität behalten. Nach den Dicken aber, die wir für jede Schicht vorausgesetzt haben, müssen die in der Mitte reflectirten Strahlen um eine Viertel-Undulation abweichen von den von den Gränzen ausgegangenen. Mithin durchläuft die Resultante der Elementarwellen, die von der äuſsersten Schicht reflectirt wird, eine Viertel-Undulation mehr als die an der Oberfläche der Körper selber reflectirten Strahlen.

Wir haben stillschweigends vorausgesetzt, der re-

Digitized by Google

flectirende Körper befinde sich im Vacuo; steht er aber mit einem anderen Körper in Berührung, so werden die an seinen der Oberfläche nahen Theilchen reflectirten und durch die untere Schicht schon auf die Hälfte reducirten Strahlen noch fernerweitig geschwächt durch die zum berührenden Körper gehörige obere Schicht, und sie werden selbst gänzlich zerstört, wenn das zweite Mittel eben so viel oder mehr Licht reflectirt als das erste. Im ersten Fall wird kein Licht mehr reflectirt; im anderen sind es die Theilchen des zweiten Mittels, die allein merklich Licht reflectiren, und demgemäſs muſs der von der Resultante der Elementarwellen durchlaufene Weg von der Mitte der oberen Schicht an gerechnet werden, welcher also um eine Viertel-Wellenlänge kürzer ist als der, welchen die an der Oberfläche selbst reflectirten durchlaufen.

Wenn nun das dünne Blättchen zwischen zwei Mitteln von gröſserer Brechkraft befindlich ist, so geschehen die beiden Reflexionen auſserhalb desselben, so daſs der von der Resultante der oberen Reflexion durchlaufene Weg um eine Viertel-Wellenlänge kürzer ist als der, welchen die an der oberen Fläche reflectirten Elementarstrahlen zurücklegen, und der von der Resultante der unteren Reflexion durchlaufene Weg um eine Viertel-Wellenlänge länger als der, welchen die an der zweiten Fläche reflectirten Elementarstrahlen zurücklegen. Der Abstand zwischen den beiden resultirenden Wellen muſs also um eine halbe Wellenlänge gröſser seyn als im Fall dieselben von der Oberfläche des dünnen Blättchens selbst ausgegangen wären. Im Berührungspunkt der beiden äuſseren Mittel, wo die Dicke des dazwischen befindlichen Blättchens Null ist, müssen also die beiden resultirenden Wellen im vollen Widerspruch stehen, und folglich einen schwarzen Fleck hervorbringen.

Wenn das Reflexionsvermögen der dünnen Lamelle zwischen denen der beiden äuſsersten Mittel liegt, so fin-

Digitized by Google

det die eine der beiden Reflexionen in dieser Lamelle statt, und die andere auſserhalb. Daraus folgt, daſs der Unterschied von einer Viertel-Wellenlänge zwischen den beiden Resultanten und den an den Flächen der dünnen Lamelle selbst reflectirten Strahlen dann für beide Flächen in demselben Sinne statt hat, und daſs mithin das Ansehen der Erscheinung dasselbe seyn muſs, wie wenn diese Resultanten von den Oberflächen der dünnen Lamelle ausgingen. Sie müssen also im Punkt, wo deren Dicke Null ist, in vollem Einklang seyn und daselbst einen weiſsen Fleck erzeugen.

Wenn endlich die dünne Lamelle ein stärkeres Reflexionsvermögen als die beiden anliegenden Mitteln besitzt, so geschehen die Reflexionen alle beide innerhalb der Lamelle, und die besprochenen Unterschiede von einer Viertel-Wellenlänge haben im entgegengesetzten Sinne statt; sie addiren sich also und verändern den Abstand, der beide Wellensysteme trennt, in eine halbe Wellenlänge; daraus entsteht, übereinstimmend mit der Erfahrung, in dem Berührungspunkt ein schwarzer Fleck.

Die beiden Hypothesen über die Reflexion kommen also, was die reflectirten Ringe betrifft, in den Folgerungen überein; wenden wir sie nun auf die durchgelassenen Ringe an.

Die durchgelassenen Ringe entspringen nothwendig aus dem Daseyn der zurückgeworfenen, und sie müssen, vermöge des bloſsen Princips der Erhaltung der lebendigen Kräfte, in vollkommen durchsichtigen Mitteln complementar zu ihnen seyn. Denn das einfallende Licht, gesetzt es sey von gleichförmiger Intensität, die Summe der Intensitäten des an jedem Punkt der dünnen Lamelle reflectirten und durchgelassenen Lichtes, muſs constant seyn. Mithin müssen die dunklen Ringe im durchgelassenen Lichte den hellen Ringen im reflectirten entsprechen. Folglich muſs im Fall, wo z. B. eine Luftschicht zwischen zwei Gläsern befindlich ist, der Punkt, wo diese

sich berühren, und der durch Reflexion gesehen schwarz erscheint, bei Durchlassung hell erscheinen.

Durch einen sinnreichen Versuch hat Hr. Arago sich überzeugt, daſs die durchgelassenen Ringe, obwohl, wegen der groſsen Menge weiſsen Lichts, worin sie gleichsam ertränkt sind, scheinbar viel schwächer als die reflectirten Ringe, diese dennoch vollständig neutralisiren, wenn man sie in die Höhe projicirt, und daſs sie demgemäſs wirklich complementar zu ihnen sind. Diese Beobachtung schien ein Einwurf gegen die Hypothese des Hrn. Young, welcher die Bildung der durchgelassenen Ringe herleitet von der Interferenz der directen Strahlen mit denen, die erst nach zweimaliger Reflexion in der Luftschicht zu derselben austreten; allein er hat durch eine sehr einfache Rechnung bewiesen, daſs seine Hypothese im Gegentheil sehr gut mit der Beobachtung des Herrn Arago übereinstimmt. Weil also diese beiden Wellensysteme Ringe von genau gleicher Intensität mit der von der Erfahrung nachgewiesenen erzeugen müssen, ist es nothwendig, daſs die Hypothese, welche man über die Reflexion annimmt, wie sie auch sey, mit dieser Ansicht von der Entstehung der durchgelassenen Ringe vereinbart werden könne.

Die Hypothese, nach welcher angenommen wird, die Reflexion geschehe an der Trennungsfläche der beiden sich berührenden Mittel selbst, vermöge des bloſsen Unterschiedes der Dichte dieser, stimmt vollkommen mit dieser Entstehung der durchgelassenen Ringe. Setzen wir nämlich voraus, die dünne Lamelle befinde sich zwischen zwei Mitteln von gröſserem Brechungsvermögen; wie bekannt ist dann der Mittelpunkt der reflectirten Ringe schwarz und der der durchgelassenen weiſs. Das ist's aber gerade, was aus der angenommenen Hypothese hervorgeht. Denn nach dieser Betrachtungsweise der Reflexion ist die Oscillationsgeschwindigkeit, wenn man sie auf die Richtung ihres Ganges bezieht, von gleichem

Zeichen für die innerhalb der dünnen Lamelle reflectirten Strahlen, wie für die durchgelassenen Strahlen; die reflectirten Strahlen, zurückgeführt durch eine zweite Reflexion auf die Richtung der durchgelassenen Strahlen, weichen also von diesem nur um den Unterschied der durchlaufenen Wege ab, der gleich ist der doppelten Dicke der dünnen Lamelle bei senkrechter Incidenz. Im Berührungspunkt der beiden äuſsersten Mittel, wo diese Dicke Null ist, sind also die zwei Mal reflectirten Strahlen im vollen Einklang mit den direct durchgelassenen, und folglich muſs der Fleck in der Mitte weiſs seyn.

Haben dagegen die beiden äuſseren Mittel ein schwächeres Brechvermögen als die dünne Lamelle, die sie einschlieſsen, so ändert die Oscillationsgeschwindigkeit, was die Richtung ihres Ganges betrifft, das Zeichen zwar bei jeder Reflexion, allein nach zwei Reflexionen nimmt sie dasselbe Zeichen an wie die unmittelbar durchgelassenen Strahlen; ihr Einklang muſs also auch jetzt noch vollkommen seyn, da, wo der Unterschied der durchlaufenen Wege Null ist, d. h. im Berührungspunkt.

Ist endlich die dünne Lamelle von stärkerem Brechvermögen als das eine der beiden äuſseren Mittel, und von schwächerem als das andere, so ändern die zwei Mal reflectirten Strahlen das Zeichen nur ein Mal bei ihren Vibrationsbewegungen, und sie weichen demnach, unabhängig von den durchlaufenen Wegen, um eine halbe Wellenlänge von den direct durchgelassenen Strahlen ab. Der Fleck in der Mitte muſs also beim Hindurchsehen schwarz erscheinen, übereinstimmend mit der Erfahrung.

Diese Ansicht von der Entstehung der durchgelassenen Ringe vereinbart sich nicht so leicht mit der Hypothese, wo man die Reflexion als bewirkt durch die Körpertheilchen selbst betrachtet; wenigstens wird es dann nöthig vorauszusetzen, daſs die solchergestalt reflectirten Elementarwellen durch den Act der Reflexion sich um eine Viertel-Wellenlänge ändern.

Digitized by Google

Es scheint mir als könne man sich bis zu einem gewissen Punkt darüber Rechenschaft geben, wenn man erwägt, daſs die Körpertheilchen, erschüttert durch die Lichtwellen, ohne Zweifel zugleich an den Bewegungen der einfallenden und der reflectirten Strahlen Theil nehmen müssen, und daſs wahrscheinlich ihre Vibrationen in der Richtung dieser letzteren hauptsächlich die Reflexion ausmachen. Damit nun diese beiden Arten von Vibrationen zugleich in denselben Theilchen auf die unabhängigste Weise vor sich gehen, müssen die einen um eine Viertel-Wellenlänge nach der andern anfangen. Ich gebe indeſs diese Ideen über eine so feine Frage nur mit vielem Miſstrauen, und betrachte keineswegs die eben ausgesprochene Erklärung für eine strenge Beweisführung von dem Unterschied einer Viertel-Wellenlänge zwischen den durchgelassenen und zurückgeworfenen Strahlen, sondern nur für eine Art ihn zu begreifen. Ueberdieſs ist die Verzögerung von einer Viertel-Wellenlänge in dem Gang der reflectirten Strahlen eine nothwendige Folge des Princips der Bewahrung lebendiger Kräfte, angewandt auf die von uns betrachtete Hypothese, weil ohne diese Aenderung, bewirkt durch die Reflexion, die durchgelassenen Ringe durchaus den reflectirten ähnlich seyn würden, statt complementar zu ihnen. Dieser Unterschied von einer Viertel-Wellenlänge ist also eine nothwendige Folgerung aus unserer zweiten Hypothese über die Reflexion.

Nun haben wir gesehen, daſs die Resultante aller Elementarwellen, die in der Nähe der Oberfläche reflectirt werden, gegen die von der Oberfläche selbst ausgegangenen Strahlen um eine Viertel-Wellenlänge zurückstehen; und weil durch den bloſsen Act der Reflexion die reflectirten Wellen um eine Viertel-Wellenlänge verzögert werden müssen, so folgt daraus ein gesammter Unterschied von einer halben Wellenlänge zwischen den einfallenden und reflectirten Strahlen, unabhängig von dem Unter-

Digitized by Google

schied der durchlaufenen Wege, diese gezählt für die reflectirten Strahlen von der Oberfläche an. Wir setzen hier voraus, der reflectirende Körper befinde sich im Vacuo; stände er im Contact mit einem anderen Mittel von geringerem Brechvermögen, so wäre der Vorgang noch derselbe; wenn aber das obere Mittel brechender wäre, so würde, da dann die Resultante der Elementarwellen sich um eine Viertel-Wellenlänge im Voraus gegen die an der Oberfläche selbst reflectirten Strahlen befände, der Verzug von einer Viertel-Wellenlänge, den sie in dem Act der Reflexion erführe, somit compensirt seyn. Man gelangt zu absolut entgegengesetzten Folgerungen wie durch die erste Hypothese, nach welcher die Reflexion, alleinig entspringend aus dem Dichtigkeitsunterschied des Aethers in beiden Mitteln, an der Trennungsfläche selbst geschehen würde. Die beiden Hypothesen also, die bei den reflectirten Ringen und folglich auch bei den durchgelassenen, weil diese nach dem Princip der Erhaltung lebendiger Kräfte nothwendig complementar zu ersteren sind, mit einander übereinstimmen, diese beiden Hypothesen, sage ich, bieten uns, indem sie hinsichtlich der Vibrationsdifferenzen zwischen den reflectirten und durchgelassenen Strahlen zu widersprechenden Folgerungen führen, das Mittel dar, durch den Versuch zu entscheiden, welche von beiden verworfen werden müsse.

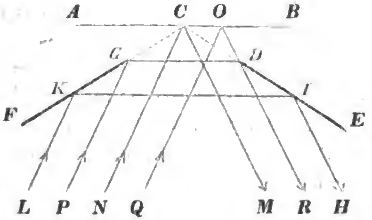
Zu dem Ende habe ich den bequemsten Fall gewählt, denjenigen, wo das Licht in Luft an der Vorderfläche einer Glasplatte reflectirt wird. Nach der ersten Hypothese müssen dann die reflectirten Strahlen mit den directen in ihren Vibrationen übereinstimmen, wenn man sie als auf dieselbe Richtung zurückgeführt annimmt und vom Unterschiede der durchlaufenen Wege absieht; nach der zweiten Hypothese müssen sie dagegen um eine halbe Wellenlänge von ihnen abweichen. Daraus folgt, daſs wenn man die beiden Lichtbündel unter einem sehr klei-

Digitized by Google

nen Winkel interferiren läſst, um sichtbare Fransen zu erzeugen, der mittliche Streifen, welcher den Punkten der Gleichheit der durchlaufenen Wege entspricht, nach der ersten Hypothese weiſs, und nach der zweiten schwarz seyn muſs.

Um diese Interferenz zu bewerkstelligen, fing ich mit zwei schwarzen Spiegeln directe Strahlen und solche auf, die bereits an einer anderen vollkommen durchsichtigen und hinten geschwärzten Glasplatte eine erste Reflexion erlitten hatten. Diese Reflexion von directen und schon reflectirten Strahlen an zwei gleichen Spiegeln konnte, da sie ihnen gleiche Modification einprägte, nicht den Unterschied abändern, der aus der Reflexion eines der Lichtbündel an dem ersten Spiegel entsprungen war [1]).

Die beiden Glasspiegel, welche die beiden Lichtbündel in fast parallele Richtungen zu bringen hatten, waren auch so gestellt, daſs für den gemeinschaftlichen Theil beider Lichtfelder die durchlaufenen Wege beinahe gleich waren. Dieſs erreichte ich mittelst einer nach Art der nebenstehenden Figur auf Pappe gezeichneten Skizze. *FG* ist die durchsichtige Glasplatte, an welcher die ein-



1) Die Reflexion an schwarzem Glase bewirkt gleiche Modificationen wie die an farblosem, wovon ich mich überzeugt habe, indem ich die an schwarzem Glase reflectirten Strahlen mit den an farblosem reflectirten interferiren lieſs. Anders ist es, wenn man statt des schwarzen Glases einen Metallspiegel nimmt; die Fransen sind dann nicht mehr symmetrisch in Bezug auf den hellen Streifen in der Mitte.

fallenden Strahlen die erste Reflexion erlitten; AB und DE sind die beiden geschwärzten Spiegel, von denen der erste die direct vom Lichtpunkt kommenden Strahlen, und der zweite die schon an der Glasplatte FG reflectirten Strahlen zurückwirft. Damit die einfallenden Strahlen auf parallele Richtungen zurückgeführt werden, müssen die beiden Spiegel FG und DE mit dem Spiegel AB Winkel machen, die gleich sind der Hälfte des Winkels NCB, welche die directen Strahlen mit eben dem Spiegel AB bilden; und damit die von den Strahlen $LKIH$ und NCM durchlaufenen Wege gleich seyen, reicht es hin, dafs die Ebenen der Spiegel FG und DE verlängert einen und denselben Punkt C der Oberfläche des Spiegels AB treffen. Nach dieser Regel wurden alle Zeichnungen gemacht; da man indefs durch eine blofse Zeichnung nicht den für so zarte Versuche erforderlichen Grad von Genauigkeit erreichen kann, indem ein Unterschied von einigen Tausendsteln eines Millimeters hinreicht die Fransen zu vernichten, so änderte ich die Lage des Spiegels DE langsam mittelst einer Stellschraube, welche ihn, in senkrechter Richtung auf seiner Oberfläche und ihm selbst parallel, vor- oder zurückschob. Nach einem sehr kurzen Probiren sah ich dann leicht Fransen zum Vorschein kommen.

Ich wiederholte diesen Versuch bei sehr verschiedenen Richtungen; ich machte den Winkel ACF folgweise gleich $7\frac{1}{2}^{\circ}$, 15°, 20°, 25°, $27\frac{1}{2}^{\circ}$, 35°, 40°, und immer sah ich die Mitte der Fransengruppe von einem schwarzen Streifen eingenommen, übereinstimmend mit der zweiten Hypothese über die Reflexion.

Um die Sache recht einleuchtend zu machen, mufs man die beiden Bilder des Lichtpunkts einander recht nahe bringen und somit die Fransen möglichst breit machen, damit der prismatische Effect der Lupe, deren man sich zu ihrer Beobachtung bedient, kein Irrthum hinsichtlich des Ranges einer jeden und hinsichtlich der Sym-

Digitized by Google

metrie ihrer Farben veranlassen könne [1]). Dann zeigen sich die Fransen symmetrisch geordnet dieſs- und jenseits des mittlichen schwarzen Streifens, welcher in der Mitte seiner Breite vollkommen farblos ist, so daſs man nicht zweifeln kann, dieſs sey ein Punkt des vollen Miſsklangs für alle Strahlenarten, und es seyen demnach die beiden interferirenden Wellensysteme um eine halbe Wellenlänge verschieden. Die zwei Mal am Glase reflectirten Strahlen weichen also von den nur ein Mal reflectirten um eine halbe Wellenlänge ab, oder, was auf dasselbe zurückkommt, die ein Mal reflectirten Strahlen weichen von den directen oder durchgelassenen um eine halbe Wellenlänge ab, unabhängig von den durchlaufenen Wegen, gerechnet von der Oberfläche des Glases selbst. Mithin bestätigt die Erfahrung die Hypothese in ihren Folgerungen, nach welcher die Reflexion an den Theilchen der durchsichtigen Körper selbst geschieht.

Diese inneren Reflexionen an den eigenen Körpertheilchen waren schon durch andere Erscheinungen angezeigt. Die Farben, welche die Polarisation in dem mehrmals von Metallen reflectirten Lichte entwickelt, beweisen nach dem Interferenzprincip, daſs ein Theil der reflectirten Strahlen bis zu einer gewissen Tiefe in das Innere des Metalls eingedrungen war, denn das so mo-

1) Um Fransen zu erhalten, ist noch eine andere Vorsicht zu treffen, bei deren Unterlassung ich anfangs einige Tage geglaubt hatte, daſs die beiden Lichtbündel nicht mehr auf einander wirkten, wenn sie sich der senkrechten Incidenz näherten. Dieſs rührte ganz einfach davon her, daſs ich die Spiegel *DE* und *FG* nicht *AB* genähert hatte in dem Maaſse als ich die Schiefe der einfallenden Strahlen verringerte, so daſs die Strahlen *PGDR* und *QOR*, welche ich interferiren lieſs, unter zu verschiedenen Richtungen vom Lichtpunkt ausgegangen waren. Nun habe ich in meiner ersten Abhandlung über die Diffraction gezeigt, daſs man die vom Brennpunkt der Linse, deren man sich zur Bildung des Lichtpunkts bedient, ausgegangenen Strahlen nur in ziemlich kleinen Winkel-Intervallen als sämmtlich in Uebereinstimmung schwingend ansehen kann.

Digitized by Google

dificirte Licht verhält sich beim Durchgang durch Krystallblättchen genau so, wie wenn es aus zwei Wellensystemen bestände, die polarisirt, das eine parallel und das andere winkelrecht zur Einfallsebene, und durch einen mehr oder weniger groſsen Abstand getrennt sind, je nach dem Einfallswinkel und der Anzahl der successiven Reflexionen.

Die durchsichtigsten Körper reflectiren das Licht nicht bloſs in der sehr dünnen Schicht, welche ihre Oberfläche berührt, sondern auch an allen andern Punkten ihrer inneren Theile, und dieses Licht wird immer merklich, wenn das reflectirende Licht hinreichende Tiefe hat.

Die Atmosphäre bietet uns davon ein auffallendes Beispiel. Die Fülle des Sonnenlichts, welches sie, selbst an heitersten Tagen, von allen Seiten in unsere Augen sendet, läſst sich, wie Hr. Arago bemerkt hat, nur begreifen, wenn man annimmt, daſs die Lufttheilchen selbst dieses Licht reflectiren, und daſs die Schwäche dieser partiellen Reflexionen durch die Menge derselben compensirt wird.

Die Erscheinungen dieser Art werden leicht begreiflich durch die Hypothese, deren Folgerungen wir so eben durch die Erfahrung bestätigt sehen. In der That die elementaren Reflexionen, die aus dem Stoſs der Lichtwellen gegen die eigenen Körpertheilchen entspringen, können sich in deren Innerem nur dann vollständig zerstören, wenn die Intervalle, welche sie trennen, unendlich klein sind in Bezug auf eine Wellenlänge, weil man dann immer hinter jedem Theilchen ein anderes in solchem Abstand finden kann, daſs die Strahlen, welche es zu reflectiren trachtet, genau um eine halbe Wellenlänge von denen abweichen, die am ersten reflectirt wurden. Sobald aber die Zwischenräume, welche die Theilchen des Mittels trennen, nicht absolut Null gegen eine Wellenlänge sind, findet keine vollständige Zerstörung

der Elementar-Reflexionen im Innern des Mittels mehr statt, und diese Reflexionen werden endlich sichtbar, wenn sie einander auf groſse Tiefe addiren [1]).

Diese Theorie der Reflexion, schon viel allgemeiner und an Folgerungen weit fruchtbarer als die andere Hypothese, die nur auf den Fall einer vollkommenen Durchsichtigkeit anwendbar ist, hat noch den Vortheil, durch ihre Grundsätze die Einwürfe zu widerlegen, welche man in Bezug auf die Dispersion, welche die Refraction begleitet, dem Undulationssystem gemacht hat. Die Analyse beweist, daſs Wellen von verschiedener Länge sich in einem homogenen elastischen Fluidum mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen müssen, so daſs wenn die Verlangsamung des Lichts, z. B. in Glas, nur von der gröſseren Dichte des darin enthaltenen Aethers abhinge, die verschiedenen Arten von Lichtwellen, die sich im Vacuo, d. h. im Aether allein, mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen müssen, im Glase eine gleiche Verzögerung erleiden und demgemäſs sich in gleicher Weise brechen würden; denn das Verhältniſs des Einfallssinus zum Brechungssinus hängt alleinig von dem ab, welches zwischen den Geschwindigkeiten des Lichts in beiden Mitteln vorhanden ist. Nach dem angeführten Versuch ist es aber sehr wahrscheinlich, daſs der in dem Glase enthaltene Aether nicht merklich dichter ist als der dasselbe umgebende; so daſs die Verkürzung der Lichtwellen, welche in das Glas dringen, hauptsächlich von dessen eigenen Theilchen herrührt, deren Einfluſs auf die Dispersion man

1) Diese Betrachtungsweise der Reflexion läſst die Möglichkeit durchblicken, die eigenen Farben der Körper auf eine genügendere Weise zu erklären als es von Newton geschehen. Die Ansicht des Letzteren scheint nicht anwendbar zu seyn auf farbige vollkommen klare Flüssigkeiten, deren Theilchen ohne Zweifel weit kleiner sind als die Länge eines Accesses selbst im Glase, und denen man also unwahrscheinliche Dichtigkeiten beilegen müſste, weit gröſsere als die, welche sie nach derselben Theorie in anderen farblosen vollkommen durchsichtigen Verbindungen haben würden.

Digitized by Google

übrigens und aus einem recht einfachen Grunde nicht in Zweifel ziehen kann, weil diese Erscheinung in ganz anderen Verhältnissen als die mittleren Brechvermögen mit der Natur oder Anordnung der Theilchen variirt.

Allein diejenige von allen optischen Erscheinungen, welche den unmittelbaren Einfluſs der Körpertheilchen auf den Gang des Lichts vielleicht am einleuchtendsten macht, ist die Doppelbrechung, welche uns zeigt, daſs ein polarisirter Lichtstrahl je nach der Richtung, in welche man den von ihm durchlaufenen Krystall dreht, seine Geschwindigkeit ändert, obgleich die Dichtigkeit des darin enthaltenen Aethers immer dieselbe bleibt.

Bei dieser Gelegenheit will ich eines Gesetzes erwähnen, welches ich kürzlich bei den Phänomen der Doppelbrechung des gekrümmten Glases entdeckt habe, und welches zeigt, bis zu welchem Punkt die Anordnung der Theilchen auf den Gang des Lichtes einwirkt.

Wenn man das Glas krümmt, erlangt es bekanntlich Eigenschaften, analog denen dünner Krystallblätter. Wie diese Blätter bringt es das auſserordentliche Bild und zwar gefärbt wieder zum Vorschein, was Hr. Brewster schon vor langer Zeit bemerkt hat. Die Analogie deutet darauf hin, daſs diese Farben, die denen der dünnen Krystallblätter vollkommen ähnlich sind, ebenfalls entspringen müssen aus der Interferenz zweier Systeme von Lichtwellen, welche das gekrümmte Glas mit ungleicher Geschwindigkeit durchlaufen; und dieſs bestätigt auch die Erfahrung.

Um die Geschwindigkeiten dieser beiden Wellensysteme zu messen, wandte ich das feine Verfahren an, welches die Diffraction darbietet. Nachdem ich ein Glasparallelepiped gekrümmt hatte, indem ich es mit einem Ende in einen Schraubstock einspannte und gegen das andere Ende eine Druckschraube wirken lieſs, leitete ich zwei Lichtbündel durch dasselbe, die von einem selben Lichtpunkt ausgingen und durch zwei Schlitze in einem

Digitized by Google

das übrige Licht auffangenden Schirm hindurchgeführt wurden. Die Schlitze waren kaum 0^{mm},15 breit und einander so nahe, daſs die beiden Lichtbündel vermöge der Ausbreitung, die sie erfuhren, mit einander interferiren konnten. Diese Schlitze entsprechen Punkten von gleicher Entfernung von der Mittellinie, wo die Glastheilchen durch die Biegung weder merklich an noch von einander gerückt wurden; solchergestalt befanden sich die Glastheilchen in der Ebene, welche dem einen Schlitze entsprach, eben so zusammengerückt, als sie in der, welche durch den anderen Schlitz ging, auseinandergerückt waren; so daſs der Gangunterschied zwischen den beiden Lichtbündeln das Doppelte des von einem dieser Wellensysteme mit den die Mittelebene folgenden Strahlen seyn muſste, da in der Mittelebene das Glas nicht von der Biegung afficirt wird, wovon man sich übrigens durch einen directen Versuch überzeugen kann, wenn man einen der Schlitze gegenüber dieser Ebene aufstellt.

Die durch die Interferenz dieser beiden Lichtbündel erzeugten Streifen zeigten nicht mehr die lebhaften und reinen Farben der Farbenringe, wie vor der Biegung des Glases; vielmehr zeigten sie ein Gemenge dieser Farben dem ähnlich, welches aus der Ueberdeckung zweier Fransengruppen, deren Mittelpunkte nicht zusammenfallen, hervorgeht. Zerlegt man das Licht mit einem Kalkspathrhomboëder, dessen Hauptschnitt parallel oder winkelrecht zu der Krümmungslinie des Glases ist, so zeigen die Fransen jedes Bildes genau die Farben der Farbenringe; allein der helle Mittelstreifen nimmt in Bezug auf den Mikrometerfaden nicht dieselbe Lage ein im ordentlichen und auſserordentlichen Bilde, was beweist, daſs der Gangunterschied zwischen den beiden parallel der Krümmungslinie polarisirten Bündeln nicht derselbe ist, wie der Gangunterschied zwischen den beiden nach winkelrechter Ebene polarisirten.

Als ich die durch die Biegung des Glases veranlaſste

Verschiebung der Fransen im ordentlichen und auſser-ordentlichen Bilde maſs, fand ich, daſs er für die parallel den krummen Flächen polarisirten Strahlen genau doppelt so groſs war wie für die Fransen, die aus den nach winkelrechter Ebene polarisirten Strahlen entstanden waren.

Gründe und Analogien deuten darauf, daſs die Linie der Krümmung genau die Axe der Doppelbrechung des gekrümmten Glases ist [1]), wenigstens wenn die Biegung so gering ist, daſs die Glastheilchen nur in dieser Richtung eine merkliche Annäherung oder Auseinanderrückung erfahren. Diese Hypothese findet sich übrigens bestätigt durch die Versuche, welche ich gemacht über die Art, wie die durch die Polarisation im gekrümmten Glase entfalteten Farben steigen und fallen in der Ordnung der Ringe, je nach der Richtung, in welcher man das Glas neigt.

Ich nehme also an, daſs die Axe der Doppelbrechung die Tangente der aus der Biegung entspringenden Curve ist; alsdann werde ich ordentliche Strahlen diejenigen nennen, welche parallel den krummen Flächen polarisirt sind,

1) In der That denken wir uns ein Glasparallelepiped parallel den gekrümmten Flächen in sehr dünne Schichten getheilt; die gegenseitige Näherung oder Entfernung seiner Theilchen nimmt zu oder ab mit der Lage der Schichten, die gleichsam einen Verein von verschiedentlich stark doppeltbrechenden Krystallen bilden. Allein da jede Schicht als sehr dünn angenommen wird, so verändert sich in deren Dicke jene Annäherung oder Entfernung nicht merklich; da also die Glastheilchen, der Hypothese nach, nur in Richtung der Längsfasern eine merkliche Verschiebung erfahren, so ist die Anordnung der Theilchen in der winkelrechten Ebene durchaus dieselbe in allen Richtungen rings um die Fasern, welche folglich die einzigen Linien sind, die als Axen einer Doppelbrechung betrachtet werden können. Wirklich müssen sie die charakteristischen Eigenschaften dieser besitzen; denn es ist klar, daſs ein Lichtstrahl, welcher in dieser Richtung durch das Glas ginge, es immer mit gleicher Geschwindigkeit durchlaufen müſste, in welchem Azimut auch seine Polarisationsebene läge.

Digitized by Google

sind, und auſserordentliche diejenigen, die es in darauf winkelrechter Ebene sind. Nach dieser Betrachtungsweise ist die Aenderung der Geschwindigkeit des Lichts, welche aus dem An- und Auseinanderrücken der Theilchen des Glasparallelepipeds entspringt, doppelt so groſs in den ordentlich, als in den auſserordentlich gebrochenen Strahlen, ein recht merkwürdiges Resultat, weil die Doppelbrechung von gleicher Ordnung ist, wie die Refractionsänderung, welche aus der Ausdehnung oder Verdichtung des Mittels entspringt.

Ich habe versucht die absolute Ausdehnung und Verdichtung des Glasparallelepipeds in den Punkten, wo es von den mit einander interferirenden Lichtbündeln durchlaufen wird, zu messen, habe aber noch nicht so viele und so genaue Beobachtungen gemacht, um bestimmen zu können, welche Relation zwischen diesen Modificationen und den daraus für den Gang des Lichts hervorgehenden Veränderungen existirt. Ich habe jedoch erkannt, daſs diese Veränderungen weit geringer sind als die, welche man aus der Zu- oder Abnahme der Dichte des Mittels nach dem Emissionssysteme folgern würde, in der Voraussetzung, daſs die Anziehung des Mittels zu den Lichttheilchen proportional der Dichte desselben sey, oder nach dem Undulationssystem in der Annahme, dieses Mittel sey eine homogene elastische Flüssigkeit, deren Dichtigkeit gleiche Veränderungen wie die der Glasplatte erfahre, und deren Elasticität constant bleibe. Mit diesen Hypothesen führen beide Theorien zu derselben Formel; ich habe dieselbe auf mehre Beobachtungen angewandt, von denen mir eine, wegen der darauf verwandten Sorgfalt, einiges Vertrauen zu verdienen scheint. Hinsichtlich der Variation, welche die Geschwindigkeit des Lichts erleiden muſs, und zwar für die Strahlen, welche in ihrem Gang die beträchtlichsten Veränderungen erleiden, d. h. die ordentlichen Strahlen, hat mir die Rechnung ein fast doppelt so groſses Resultat wie dieser Versuch gegeben.

Immer annehmend, daſs die Axe der Doppelbrechung des gekrümmten Glases in der Richtung der Krümmung liege, habe ich durch Kreuzung der Glasplatte mit Krystallplatten gefunden, daſs die auf Seite der Convexität oder des nach der Axe ausgedehnten Theils liegende Hälfte von der Art der attractiven Krystalle ist, und der Theil, wo die Molecule in Richtung der Axe einander genähert sind, zur Gattung der repulsiven Krystalle gehört, wenn ich mich dieser im Emissionssystem üblichen Ausdrücke bedienen darf; oder anders gesagt und die Sache vom Standpunkte der Undulationstheorie betrachtet, daſs, sobald die Doppelbrechung durch eine Ausdehnung längs der Axe veranlaſst ist, der ordentliche Strahl schneller geht als der auſserordentliche, und daſs wenn sie aus einer Condensation längs der Axe entspringt, umgekehrt der auſserordentliche Strahl dem ordentlichen voreilt. Dieſs war schon aus den von mir angeführten Diffractionserscheinungen zu schlieſsen.

Schon vor sehr langer Zeit hat Hr. Brewster diese Analogie zwischen den beiden Hälften einer gekrümmten Glasplatte und den attractiven und repulsiven Krystallen bemerkt; allein ich weiſs nicht, daſs er die Richtung der Axe angegeben habe. Wie dem auch sey: sehr wahrscheinlich hat er sie auch parallel der Krümmungslinie angenommen, denn das ist die natürlichste Hypothese [1]).

Schlechtes Wetter und dringende Geschäfte haben mich genöthigt, die Untersuchungen über die Doppelbrechung des gekrümmten Glases einstweilen zu verlassen. Ich bin Willens sie unter günstigeren Umständen wieder vorzunehmen und durch genaue Beobachtungen zu bestimmen, welche An- und Auseinanderrückungen der Glas-

1) Seit der Abfassung dieser Abhandlung habe ich mich überzeugt, daſs Hr. Brewster die Richtung der Axe in dem gekrümmten Glase bestimmt hat, indem er die einfallenden Strahlen nach gegen die Axe parallelen und senkrechten Ebenen neigte; und er hat gefunden, daſs sie der Condensation oder Dilatation des Glases parallel ist.

Digitized by Google

theilchen jedem Grad von Geschwindigkeitsunterschied zwischen den ordentlichen und auſserordentlichen Strahlen entsprechen. Versuche dieser Art, bei welchen man die Modificationen in der Anordnung der Theilchen des brechenden Mittels nach Belieben verändern und messen kann, werden vielleicht auf die mechanischen Ursachen der Doppelbrechung einiges Licht werfen.

IX. *Ueber das Phänomen der Interferenz zweier Lichtstrahlen im Falle groſser Gangunterschiede;*

von den HH. H. Fizeau und L. Foucault.

(*Compt. rend. T. XXI, p.* 1153. Ein daselbst mitgetheilter Auszug.)

Wenn zwei Lichtstrahlen einander unter den Bedingungen der Interferenz begegnen, und man vergröſsert stufenweise ihren Gangunterschied, so gelangt man bald zu einer Gränze, wo das allmälig schwächer gewordene Phänomen aufhört wahrnehmbar zu seyn. Das Daseyn dieser Gränze erklärt sich natürlich durch die Nicht-Homogenität der interferirenden Bündel, und wirklich liegt sie desto ferner, als diese Bündel aus einem einfacheren Lichte bestehen.

Indeſs weist die Theorie noch eine andere Ursache nach, die früher oder später den Interferenzerscheinungen eine Gränze stecken muſs, eine Ursache, die von der Zusammengesetztheit des Lichts ganz unabhängig ist und mit der Art, auf welche die Lichtbewegungen vor sich gehen, in Beziehung steht.

In der That die Nicht-Interferenz der von verschiedenen Quellen ausgegangenen Strahlen und der zweier Strahlen von gleichem Ursprung, die anfangs winkelrecht

Digitized by Google

gegen einander polarisirt und alsdann auf eine selbe Polarisationsebene zurückgeführt wurden, aber nicht vorher nach einer einzigen Ebene polarisirt waren, hat zu der Ansicht geführt, die Lichtbewegungen seyen sehr häufigen Störungen ausgesetzt, und diese bewirken in dem successiv von einem selben Punkt ausgesandten Lichte solche Veränderungen, daſs, wenn der Gangunterschied zweier von diesem Punkt ausgegangenen und interferirenden Strahlen hinreichend groſs geworden, kein bleibendes Verhältniſs in den beiden einander überdeckenden Bewegungen stattfinde und nun das Phänomen gänzlich aufhöre.

Es war daher interessant für die Theorie des Lichts, das Interferenzphänomen bis zu dem Fall verfolgen zu suchen, wo der Gangunterschied einer groſsen Zahl von Lichtwellen gleich werde. Die Beobachtungsweise, welche wir zu diesem Zweck anwandten, ist folgende:

Wenn ein selber Ort des Raums erleuchtet wird von zwei Lichtbündeln, die von einer gleichen Quelle ausgehen, von denen aber der eine gegen den andern zurück ist, so kann das Interferenzphänomen nur dann an diesem Ort beobachtet werden, wenn der Verzug unbeträchtlich ist; statt unmittelbar diesen Ort selber zu betrachten, kann man ihn zum Centrum der Strahlung machen, davon einen begränzten Theil durch einen Schirm mit Schlitz absondern, und mittelst eines zweckmäſsigen Brechungssystems von dem von ihm ausstrahlenden Lichte ein sehr reines Spectrum bilden.

Dieses Spectrum, in welchem man, wenn Sonnenlicht angewandt wird, alle Fraunhofer'schen Linien unterscheidet, kann angesehen werden als bestehend durch Juxtaposition aus einer fast unendlichen Anzahl von Bildern des strahlenden Schlitzes, von denen jedes aus Strahlen einer besonderen Wellenlänge, aber den allerhomogensten, zusammengesetzt ist.

Jedes der Elemente des Spectrums wird also durch

Digitized by Google

die Intensität der besonderen Strahlen, die es zusammensetzen, das Resultat der Interferenz dieser Strahlen an dem Ort des Raumes zeigen, von dem er das Bild ist. Beobachtet man also das ganze Spectrum, so wird man gleichzeitig in allen Arten des einfachen Lichtes die Phänomene wahrnehmen, die aus dem Zusammentreffen zweier Lichtbündel an einem selben Ort des Raumes hervorgehen.

Diese Interferenzspectra werden im Allgemeinen durch dunkle und helle Streifen gebildet, die den festen Linien parallel sind und abwechselnd in der ganzen Länge des Spectrums auf einander folgen, in desto gröſserer Zahl als der Gangunterschied zwischen den interferirenden Bündeln gröſser ist.

Man wird bemerken, daſs, da in den Spectren mit Interferenzstreifen zugleich auch die festen Linien vorhanden sind, man immer die Zahl dieser Streifen zwischen zwei bestimmten Gränzen angeben kann; und diese Zahl erlaubt den Gangunterschied der beiden Bündel zu berechnen.

Die eben beschriebene Methode findet ihre Anwendung auch auf den Fall, wo die Interferenzen durch zwei geneigte Spiegel oder durch dünne Lamellen hervorgebracht werden, so wie auf den, wo die Interferenzen aus den ungleichen Geschwindigkeiten entstehen, welche die Doppelbrechung den beiden Lichtstrahlen in Krystallplatten einprägt.

Im ersten Fall beobachtet man das Spectrum von dem Licht, welches durch eine zwischen zwei Nicol'sche Prismen zweckmäſsig angebrachte doppeltbrechende Krystallplatte gegangen ist.

Unter den aus unseren Versuchen abgeleiteten Zahlen wollen wir nur die folgenden anführen, um zu zeigen, bis zu welcher Gränze das Phänomen verfolgt werden kann.

Mittelst Fresnel'scher Spiegel haben wir die Inter-

Digitized by Google

ferenzen noch beobachtet, wenn der Gangunterschied für die blauen Strahlen im Spectrum nahe bei der Linie F. 1737 Wellenlängen betrug.

Durch Reflexion an den beiden Oberflächen einer dünnen Glasplatte wurden die Interferenzen noch nachgewiesen als der Gangunterschied die Zahl 3406 Wellenlängen erreichte.

Mit Krystallblättchen wurde das Phänomen bis zu merkwürdigen Dicken verfolgt, so z. B. gab eine der Axe parallele Bergkrystallplatte von $54^{mm},6$ Dicke, so wie eine ebenfalls der Axe parallele Kalkspathplatte von $4^{mm},79$ Dicke sehr hübsche Interferenzphänomene, obwohl der Gangunterschied bei der ersten 1082, und bei der zweiten 1692 Wellenlängen betrug [1]).

Am Schlusse dieses ersten Theils unserer Arbeit zeigen wir, wie man aus dieser Beobachtungsweise genaue Data über die Dispersion der Doppelbrechung ableiten kann. Dieses Studium bietet ein besonderes Interesse bei der circularen Doppelbrechung des Bergkrystalls, indem es erlaubt, das merkwürdige von Hrn. Biot gefundene Gesetz für die Drehung der Polarisationsebenen der verschiedenen Strahlen in diesem Krystall einer Prüfung zu unterwerfen.

X. *Beobachtungen über Capillarität; von Henry.*

In der Sitzung der *American Philosophical Society,* zu Philadelphia, vom 20. Juli v. J., gab Hr. Prof. Henry,

1) So weit sich aus der kurzen Andeutung des Verfahrens der HH. F. und F. entnehmen läſst, möchte man dasselbe für Krystallblättchen wohl für ziemlich identisch halten dürfen mit dem von Baron Wrede angewandten (Ann. Bd. 33, S. 366), auf dessen Nutzen für die Lehre von den Interferenzen ich gelegentlich in dies. Ann. Bd. 41, S. 516 aufmerksam machte. *P.*

Digitized by Google

von Princeton, Nachricht von einigen Beobachtungen über Capillarität, die er in Zusatz zu den früher der Gesellschaft mitgetheilten angestellt hatte.

Im J. 1839 überreichte er die Resultate einiger Versuche über die Durchdringlichkeit des Blei's für Quecksilber [1]), und spätere Beobachtungen lieſsen ihn glauben, daſs auch andere Metalle in Bezug auf einander diese Eigenschaft besitzen möchten. Sein erster Versuch, diese Muthmaſsung zu prüfen, wurde mit Hülfe des Dr. Patterson in der Münze der Vereinigten Staaten angestellt. Zu dem Ende wurde ein Goldkügelchen auf eine Platte Eisenblech gelegt und der Hitze des Probirofens ausgesetzt, allein der Versuch war ohne Erfolg; denn wiewohl das Gold weit über seinen Schmelzpunkt erhitzt ward, so zeigte es doch keine Anzeige von Eindringen in die Poren des Eisens. Später kam ihm der Gedanke, daſs wohl ein anderes Resultat erhalten wäre, wenn man die beiden Metalle vor dem Erhitzen in Adhärenz zu einander gebracht hätte, so daſs kein Oxyd sich zwischen den Oberflächen bilden konnte. Zu dem Ende erkundigte sich Prof. H. bei Hrn. Cornelius, in Philadelphia, ob derselbe wohl in seiner ausgedehnten Lampenfabrik beim Bearbeiten des mit Silber plattirten Kupfers ein Verschwinden des Silbers auf dem Kupfer in der Hitze wahrgenommen hätte. Er erhielt zur Antwort, daſs wenn die plattirte Platte über eine gewisse Temperatur erhitzt würde, das Silber immer verschwände und eine Kupferfläche entblöſst zurücklasse; auch daſs es allgemein der Glaube der Arbeiter sey, daſs das Silber bei dieser Temperatur verdampfe.

Prof. H. vermuthete, daſs das Silber, statt zu verdampfen, bloſs in die Poren des Kupfers eingedrungen wäre, und daſs, wenn man die Oberfläche des letzteren vorsichtig durch Säuren fortnähme, das Silber wieder zum Vorschein käme. Um dieſs durch Erfahrung zu bewahr-

1) Ann. Bd. 52, S. 187.

heiten, erhitzte Hr. Cornelius ein dickplattirtes Stück Kupfer an einem Ende nahe bis zum Schmelzen; das Silber verschwand an diesem Ende, und als das Metall durch verdünnte Schwefelsäure gereinigt ward, zeigte das erhitzt gewesene Ende eine gleichmäſsige Kupferfläche, während das andere Ende noch seinen Silberüberzug besaſs. Das unversilberte Ende der Platte wurde nun auf einige Minuten in eine Lösung von salzsaurem Zink gebracht, wodurch die äuſsere Fläche des Kupfers entfernt, und die Oberfläche des Silbers wieder bloſsgelegt ward. Diese Methode der Wiederherstellung des Silbers würde, ehe das Versilbern durch Galvanismus in Gebrauch kam, für die Fabriken plattirter Waaren von groſsem Nutzen gewesen seyn, weil es oft geschieht, das werthvolle Gegenstände beim Löthen, durch Erhitzen bis zum Punkt des Verschwinden des Silbers, verdorben werden.

Es ist den Juwelieren wohl bekannt, daſs kupferne mit Gold plattirte Gegenstände mit der Zeit ihren Glanz verlieren, und daſs man diesen durch Sieden mit Ammoniak wiederherstellen kann. Diese Erscheinung wird wahrscheinlich dadurch bewirkt, daſs das Ammoniak auf das Kupfer wirkt, es von der Oberfläche fortlöst, und das Gold, welches durch Diffusion in das Kupfer eingedrungen ist, entblöſst.

Eine langsame Diffusion eines Metalls durch ein anderes findet wahrscheinlich bei den Legirungen statt. Silbermünzen, die lange in der Erde lagen, sind mit einem Kupfersatz bedeckt gefunden. Dieſs läſst sich durch die Annahme erklären, daſs die Oberfläche der Münze sich mit der Kohlensäure des Bodens verbinde, und, nachdem sie fortgenommen, durch eine Diffusion von Innen aus ersetzt werde. Es ist nicht unwahrscheinlich, daſs auf diese Weise im Laufe der Zeit ein bedeutender Theil des Kupfers ausgezogen, und somit die Reinheit der Münze ansehnlich erhöht werde.

Vielleicht ist auch das Phänomen, welches Ausson-

Digitized by Google

derung (*segregation*) genannt wird, d. h. die Bildung von Feuersteinknollen in Massen von kohlensaurem Kalk oder von verhärtetem Mergel in Thonlägern, auf ähnliche Weise zu erklären. Beim Aufbrechen dieser Massen beobachtet man fast immer, daſs ein Stück einer Muschel oder sonst einer fremdartigen Substanz die Mitte einnimmt, und wahrscheinlich bildet es den Kern, um welche sich die Masse durch Attraction anhäufte. Nur hat es Schwierigkeit zu erklären, wie die Cohäsionsanziehung, welche in merkliche Entfernungen unmerklich ist, einen solchen Effect bewirken könne. Um dieſs zu erklären, wollen wir annehmen, zwei Substanzen seyen durch gegenseitige Anziehung gleichmäſsig durch einander verbreitet, wie Zucker gelöst in einer groſsen Menge Wasser, wo jedes Wassertheilchen eine verhältniſsmäſsige Menge Zucker anzieht, und das Ganze im Gleichgewichtszustand ist. Wenn die Diffusion anfangs durch Wärme unterstützt ward und diese Ursache der Trennung homogener Theilchen entfernt wird, kann die Diffusion ein instabiles Gleichgewicht werden; und die geringste äuſsere Kraft, wie z. B. die Anziehung eines kleinen Muschelstücks, kann die Ruhe stören und die unmittelbar mit ihm in Contact stehenden Theilchen anziehen. Dieſs würde ein Vacuum von Atomen rings um die anziehende Masse bilden; denn beim Zucker z. B. würde rings um den Kern eine an Zucker ärmere Schicht Wasser entstehen, diese Schicht würde von der nächst äuſseren wieder Zucker aufnehmen, und sofort durch die ganze Wassermasse, bis der übrigbleibende Zucker wieder gleichmäſsig verbreitet wäre. Der Proceſs würde sich vom Kerne ausgehend wiederholen, und solchergestalt zuletzt eine beträchtliche Masse Zucker um denselben anhäufen. Auf diese Weise läſst sich begreifen, wie die Molecular-Attraction Wirkungen hervorzubringen vermag, die nur das Resultat von in die Ferne wirkenden Kräften zu seyn scheinen können. (*Proceedings of the American phil. Soc. Vol. IV, p.* 176.)

Digitized by Google

XI. *Ueber eine Methode staubförmigen Graphit in eine compacte Masse zu verwandeln; von Hrn. W. Brockedon.*

Graphit oder Reiſsblei von hinreichender Güte, um Bleistifte daraus zu verfertigen, ist sehr selten geworden; in den Gruben von Borrodale wird gegenwärtig nur eine geringe Menge, und zwar von untergeordneter Beschaffenheit, gewonnen, so daſs, was in der letzten Zeit verkauft worden, nur ein Theil der groſsen Ausbeute ist, die man vor vierzig Jahren erhielt. Der Cumberlandsche Graphit hat seinen früheren Ruf verloren; er enthält Unreinigkeiten, die von den Künstlern leicht entdeckt werden.

Der Verfasser dieses Aufsatzes hat eine Methode erdacht, durch welche der zarte Staub der besten Graphittheile wieder in eine dichte und compacte Masse verwandelt werden kann, von so derber Textur wie der beste Graphit, der in Gruben gefunden wird. Um dieſs zu bewirken wird der Staub, der beim Zersägen des Graphits in dünne Platten und Stäbchen (*veneers*) zum Behufe der Anfertigung von Bleistiften abfällt, sorgfältig gewaschen und zermalmt, durch wiederholte Operationen rein und frei vom Gries (*grit*) gemacht, und endlich durch ein Sieb geschlagen, dessen Zwischenräume weniger als $\frac{1}{50000}$ eines Quadratzolls betragen. So präparirt wird das Pulver in eine starke Form (*die or bed*) von Stahl mit luftdichtem Stempel (*fittings*) unter eine kräftige Presse (Stoſswerk?) gebracht. Dann wird die Luft aus dem Pulver gepumpt und, nachdem es luftfrei ist, ein Stöſser (*plunger*) auf dasselbe herabgelassen; dadurch wird es verfestet. Die zur Ausübung dieser Operation angewandte Kraft wird auf 1000 Tonnen (also etwa

Digitized by Google

20000 Centner) geschätzt; von dieser Gewalt werden mehre Schläge gegeben.

Proben von den auf solche Weise aus dem Staube des besten Cumberlandschen Graphits dargestellten Stükken wurden vorgezeigt. Eins derselben war von der Beschaffenheit, daſs es in dünne Platten zu Bleistiften zersägt werden konnte; ein anderes Stück, das zerbrochen war, zeigte an beiden Seiten des Bruchs eine gleich glatte (*smooth*) Fläche, eine Erscheinung, die man oft am natürlichen Graphit bemerkt.

Aus diesem Proceſs hält der Verfasser sich zu dem Schluſs berechtigt, daſs das feine Sediment, welches sich von zerstörten Gebirgsarten absetzt, durch bloſsen Druck wieder in solides Gestein verwandelt werden kann [1]).

1) Prof. H. Rose hat von seiner dieſsjährigen Reise nach England ein durch Hrn. Faraday's Vermittlung von Hrn. Brockedon erhaltenes Stück des comprimirten Graphit mitgebracht. Es stellt ein an den Kanten abgerundetes, sonst aber ziemlich regelmäſsiges Parallelepiped dar von 54,5 Millimeter in Länge und 23,5 Millim. in Breite und Dicke. Begierig die Dichtigkeit desselben kennen zu lernen, unterwarf ich es einer Wägung. Es wog in der Luft =60,9025 Grmm., in Wasser von 17°,5 C. =34,608 Grmm., mithin war sein specifisches Gewicht =2,3162. Der comprimirte Graphit ist also nicht unbeträchtlich dichter als der natürliche, dessen specifisches Gewicht in den mineralogischen Lehrbüchern zu 1,8 bis 2,1 angegeben wird. Und dennoch möchte diese Bestimmung vielleicht ein etwas zu niedriges Resultat gegeben haben. Denn nachdem das erwähnte Graphitstück ungefähr eine halbe Stunde lang im Wasser gehangen hatte, begann auf der Mitte einer seiner Flächen aus einer fast mikroskopischen Oeffnung eine förmliche Gasentwicklung anfangs in sehr kleinen, späterhin in etwas gröſseren Bläschen, welche letztere weniger rasch auf einander folgten und mit einem eigenthümlichen Geräusch zerplatzten. Erst nach sieben Stunden war diese Luftentwicklung vollkommen beendet, vor welchem Zeitpunkt natürlich auch keine Bestimmung möglich war, da das Gewicht des Graphits im Wasser fortwährend zunahm, im Ganzen um mehr als ein Gramm. Hienach wäre es leicht möglich, daſs die Masse noch andere mit Luft erfüllte Räume enthielt, in die das Wasser nicht einzudringen vermochte.

Poggendorff.

Digitized by Google

(*Chemical Gazette No.* 80, wo es aus den *Proceedings of the Geological Society* genommen ist.)

XII. *Ueber eine aus der Atmosphäre niedergefallene Substanz; von Hrn. Tizenhauz.*

(*Compt. rend. T. XXIII, p.* 452.)

Zu zwei verschiedenen Malen, am 24. und 26. Januar 1846, hat der *Courrier de Constantinopel* über eine Manna berichtet, die in Kleinasien in groſser Menge vom Himmel gefallen sey, 1841 in der Umgegend von Sywrihissar und an mehren andern Orten, und neuerlich 1846 zu Jenischeri, wo die Einwohner aus Noth diese Himmelskost benutzten, um Brot daraus zu backen.

Dieſs seltene Phänomen hat sich kürzlich auch in unseren europäischen Gegenden ereignet. Es war am 3. April (22. März a. St.), nicht weit von meinem Wohnort, dem Gute Zaiviel, zum Flecken Smorgonie gehörig, am rechten Ufer der Wilia, District Sievienciany, Gouvernement Wilna, unter 54° 45′ NBr. und 44° O. L., bei heiterem Himmel und ganz reiner Luft, bei + 10° R. und 27″ 6‴ Barometerstand, zur Zeit da nichts ein Gewitter anzukündigen schien, als zwischen 6 und 7 Uhr Abends mit einem Südwestwinde eine dicke Wolke, durchfurcht von Blitzen, den Horizont verdunkelte. Nach mehren Donnerschlägen von auſserordentlicher Stärke folgte ein warmer und reichlicher Regen, der die ganze Nacht hindurch anhielt.

Am andern Morgen glaubte der Inspector des Gutes Zaiviel vom Fenster aus hie und da Hagel auf dem Rasen des an das Haus anstoſsenden Gartens zu erblikken. Er ging hinaus, um sich davon zu überzeugen, aber wie groſs war sein Erstaunen, als er statt des Hagels zer-

brochene Kugeln einer ihm unbekannten Substanz fand; er sammelte einen Teller voll und legte sie zum Trocknen in Sonnenschein. Er machte mir folgende Beschreibung von ihnen: „die Kugeln waren von verschiedener Gröſse, von Haselnuſs- bis zu Nuſsgröſse; sie alle waren zerbrochen, allein die Stücke lieſsen sich leicht zusammenfügen, und jedes stellte ein Kugelsegment dar. Der äuſsere convexe Theil war vollkommen eben; die Bruchflächen zeigten eine blättrige Beschaffenheit; alle diese Stücke hatten eine fast gallertartige, aber feste und brüchige Consistenz (*avaient une température et une consistance presque gélatineuse, mais ferme et cassante*). Eine kleine Menge, die vier Tage dem Regen ausgesetzt blieb, zeigte keine Anzeige von Fäulniſs."

Der Mann, der mir dieses berichtete, ist mir lange wegen seiner Ehrlichkeit bekannt, und ich kann für die Richtigkeit seiner Aussage bürgen; überdieſs hatte er kein Interesse mich zu täuschen, denn er selbst zweifelte, daſs es Manna sey. Die Stückchen, die er mir übergab, sind ganz trocken; die gröſsten wiegen bis 5 Gran; in diesem Zustand ist ihr Ansehen schwammig, teigig, faserig-blätterig, graulichweiſs und ein wenig durchsichtig, sie sind ziemlich hart, geruchlos, schmecken etwas nach Amylum und lassen sich zu einem sehr feinen Mehl zerreiben. Das specifische Gewicht dieser Substanz übertrifft ein wenig das des Wassers. Angezündet, brennt sie mit gelblicher Flamme, lebhaft spritzend und sehr stark wie gebrannter Zucker riechend, mit Hinterlassung von wenig Kohle. Vierundzwanzig Stunden in Wasser liegen gelassen, schwillt sie fast zum Doppelten ihres Volums auf und wird durchsichtig wie Gallerte, ohne indeſs die mindeste Anzeige von Auflösung zu verrathen. Zwischen den Fingern gedrückt, giebt sie nach und zerfällt zu Krümchen, die nicht an die Finger kleben. Sie löst sich fast gänzlich in Alkohol, und die alkoholische Lösung in destillirtes Wasser getröpfelt bewirkt darin eine schwache

Digitized by Google

bläuliche Wolke, die lange schwebend bleibt, ehe sie sich absetzt.

Diese atmosphärische Substanz scheint mir die Natur der Gummiharze zu besitzen, und könnte wohl die in der Genesis erwähnte wahrhafte *Manhu* der Kinder Israels seyn. Wie mir scheint, ist sie ein Pflanzenproduct *sui generis*, herrührend von balsamischen Pflanzen-Aushauchungen, die, in den oberen Regionen angehäuft, und, durch Wirkung der Elektricität metamorphosirt, in Form von Hagel auf die Erde niederfielen. Sie kann nicht den eigentlichen Harzen, auch nicht dem Zucker, dem Bassorin und noch weniger dem Stärkmehl (denn Jodlösung bläuet nicht die alkoholische Lösung dieser Manna) beigezählt werden. Endlich ist sie sicher nicht die Wurzel einer Pflanze der Gattung *Ficaria*, wie Hr. Noé, Conservator des naturhistorischen Museums zu *Galata-Seraj*, behauptet, welcher, nachdem er sich nach Jenischeri begeben, um Erkundigungen wegen der daselbst gefallenen Manna einzuziehen, und nachdem er daselbst nichts gefunden hatte, der fanatischen Unwissenheit des Volks die Idee zuschreibt, dafs jene Substanz mit dem Regen vom Himmel gefallen sey.

XIII. *Notizen.*

1. *Meteorsteinfall bei Werchne Tschirskaja Stanitza.* — Im *Bullet. de la classe physico-math. de l'acad. de St. Petersbourg, T. V, p.* 196, giebt Prof. Borissiak, zu Charkow, Nachricht von einem Meteorsteinfall, der sich am 30. Oct. (alt. Styls?) 1843, dreifsig Werst südwestlich von *Werchne Tschirskaja Stanitza* (am Don, im Lande der donischen Kosaken) bei heiterem windstillem Wetter unter starken Detonationen, aber ohne Lichterscheinung (wie bei dem zu Terra-Nuova in Calabrien 1754)

zugetragen hat. Der gleich nach dem Falle aufgefundene Stein hat die Gestalt einer dreiseitigen Pyramide, mit einer concaven, einer convexen und einer ebenen Fläche, wiegt 8 Kilogrm. 30 Grm., und besitzt ein spec. Gew. =3,58. Mit dem Magnet wurden 30 Proc. metallische Theile herausgezogen. Eine etwa 0,2 Lin. dicke Kruste, die den Stein allseitig bis auf die vier Ecken umgiebt, ist schwarz, matt, hart (das Glas ritzend), spröde, und an einigen Stellen mit Eisentheilchen durchsetzt. Die innere Masse hat ein grobes erdiges Gefüge, eine hellgraue Farbe und matten Bruch, mehr als Glashärte, und ist von feinen Adern durchsetzt, deren einige mit einer schwärzlichen Masse gefüllt sind. Vor dem Löthrohr schmilzt sie nicht, verändert aber ihre Farbe und wird magnetisch. Mit Borax giebt sie eine glasige Schlacke, die beim Erkalten schwarz wird. Sie löst sich nur zum Theil in Säuren, in Salzsäure besser als in Schwefelsäure, und haucht mit ersterer einen Schwefelwasserstoffgeruch aus. In der dem Trachyt ähnlichen Masse lieſsen sich erkennen: Metallisches Eisen, Schwefeleisen, kleine, kaum wahrnehmbare unregelmäſsige weiſse Körner, ähnlich dem Orthoklas, und glänzende schwärzliche Kügelchen von Stecknadelgröſse, die vom Magnet ausgezogen wurden. Der Aerolith gehört zu den erdigen und ähnelt dem i. J. 1807 zu *Juchnow* (Gouv. Smolensk) gefallenen.

2. *Muthmaſslicher Meteorsteinfall zu Fayetteville.* — Ein Ungenannter beschreibt in Silliman's Journal (1845) *Vol. XXIX*, *p.* 408, ein Meteor, welches er am 1. Sept. 1845, Nachts 2 Uhr, zu *Fayetteville* (Nord-Carolina) erlebt hat, und, nach dem starken Licht und heftigem Knall zu urtheilen, nichts anders als ein Meteorsteinfall gewesen seyn kann. — In demselben Journale (*Vol. XXIX*, *p.* 407) theilt Hr. Hiram Bingham, Missionar auf den Sandwich-Inseln, einige Partikularitäten mit über den Aërolithenfall (oder Schauer von Aërolithen, wie Hr. B. sich ausdrückt), der sich am 27. Sept. 1825

theils auf *Honolulu*, theils im Kanal zwischen *Molokai* und *Lanai*, theils zwischen diesen Inseln und *Oahu* ereignet hat, und schon von v. Hoff in den Ann. Bd. 24, S. 225, aufgeführt worden ist.

3. *Phosphorsäure im Mineralreiche.* — Zufolge einer Untersuchung des Hrn. Fownes (*Phil. Transact.* 1844, *pt. I, p.* 53) enthalten folgende Mineralien feurigen Ursprungs mehr oder weniger beträchtliche Spuren von Phosphorsäure: *Dunkelgraue schlackige Lava vom Rhein* (ungemein hart und dauerhaft, zu Köln als Baustein benutzt), *weiſser Trachyt vom Drachenfels*, *dunkelrothe schlackige Lava vom Vesuv*, *compacter grüner Basalt* (*Toadstone*) von Cavedale in Derbyshire, auch solcher von *Dudley* (*Rowley-Ragg* genannt), *alte porphyrische Lava* vom Vesuv (viele Hornblendkrystalle enthaltend), *Tuff* oder *vulkanischer Schlamm* vom Vesuv. — Herr Sullivan, zu Dublin, hat, durch Hrn. Prof. Liebig dazu aufgefordert, die Untersuchung fortgesetzt (*Philos. Mag.* (1845) *Vol. XXVII, p.* 161) und obiger Liste noch folgende Gesteine und Minerale hinzugefügt: *Bergkalk* (*carboniferous limestone*) in neun Varietäten aus der Nähe von Cork, *Muschelkalk* und *Dolomit* von Fulda, *Dachschiefer* (zu Gieſsen gebraucht), *Kohlensandstein* (*millestone-grit*), *Thonschiefer* (*slate*), *alten rothen Sandstein* (*old red standstone*) von Cork; *Diorit* aus dem Lahnthal, *Klingstein* und *Phonolitischen Tuff* von der Rhön, *Hornblende* in Krystallen ebendaher, verwitterten *Olivin* aus dem Vogelsgebirge, krystall. *Augit* von der Rhön, compacten *Basalt* von Gieſsen, *Trapp* aus Nord-Irland, *Basalt* vom Riesenweg in Irland, *Bimstein* vom Laacher See, *Sodalith, Hypersthen, Datolith, Obsidian* von Lipari (reichlich), *Glimmer* vom Spessart, *Granit* und *Gneus* vom Odenwald, *Granit* aus Schottland, *Chloritschiefer*, *Augitporphyr*, *Glimmerschiefer*, *Lepidolith* (sehr reichlich) und *Tinkal* oder *natürlichen Borax* (sehr reichlich, ein Mal 2,13 Proc.). — In dem Wasser eines sehr tiefen Brunnens der Brauerei d. HH. Combe und Delafield zu London fand auch Prof. Graham auf 100 Thl. seines festen Gehalts 0,34 phosphorsauren Kalk und 0,43 phosphorsaures Eisen (*Phil. Mag. Vol. XXVII, p.* 369). Die Phosphorsäure scheint also im Mineralreiche sehr verbreitet zu seyn.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. II. ERGÄNZUNG. St. 3.

I. *Ueber die Volta'sche Gasbatterie. Versuche, um die Ursache ihrer Wirkung und ihre Anwendung auf Eudiometrie zu ermitteln;* *von W. R. Grove.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. in einem besonderen Abzuge aus den *Phil. Transact.* 1843, *pt. II, p.* 91.)

Im *Philosophical Magazine* für December 1842 gab ich Nachricht von einer Volta'schen Batterie, die als wirkende Bestandtheile Gase enthielt und Wasser durch seine Bildung zersetzte [1]).

Die in diesem Aufsatz beschriebene Batterie bestand aus einer Reihe von Röhren, worin Platinstreifen, überzogen mit pulverförmig niedergeschlagenem Platin, enthalten waren. Die Streifen gingen durch die oberen, mit Kitt verschlossenen Enden der Röhren, deren unteren Enden offen waren. Die Röhren standen paarweise in Gefäſsen mit verdünnter Schwefelsäure, und von jedem Paar war die eine Röhre mit Sauerstoffgas, die andere mit Wasserstoffgas in solcher Menge gefüllt, daſs das Platin noch die verdünnte Säure berührte. Das Platin in dem Sauerstoff des einen Paars war metallisch verbunden mit dem Platin im Wasserstoff des nächsten, und solchergestalt wurde eine Volta'sche Reihe von 50 Paaren gebildet.

Mit dieser Batterie wurden folgende Wirkungen erhalten: — 1) Ein Schlag, den fünf sich anfassende Personen fühlen konnten; — 2) Herumschleudern der Nadel eines mäſsig empfindlichen Galvanometers, und endlich 60° bleibende Ablenkung derselben; — 3) bedeutende

1) Dieser Aufsatz findet sich in den Ann. Bd. 58, S. 202.

Divergenz eines Goldblatt-Elektroskops; — 4) zwischen Kohlenspitzen ein heller, bei vollem Tageslicht sichtbarer Funken; — 5) Zersetzung von Jodkalium, Chlorwasserstoffsäure und angesäuertem Wasser. Die Gase aus dem zersetzten Wasser wurden gesammelt und verpufft; sie entwickelten sich in den von der chemischen Theorie geforderten Richtungen, innerhalb der ganzen Kette der Wasserstoff in der einen Richtung, der Sauerstoff in der entgegengesetzten. Mit destillirtem Wasser, statt des gesäuerten, in den Zellen waren die Wirkungen ähnlich, doch schwächer.

Diese an sich schon klaren und entscheidenden Wirkungen wurden durch Gegenversuche, z. B. durch Umkehrung mittelst Vertauschung der Gase etc., fernerweitig bestätigt; doch brauche ich sie hier wohl nicht zu specificiren, da die elektrischen Wirkungen der mit Sauerstoff und Wasserstoff geladenen Gasbatterie seit der Veröffentlichung jenes Aufsatzes wiederholentlich bestätigt worden sind. Ich gab ferner an, daſs wenn Kohlensäure und Stickstoff statt des Sauer- und Wasserstoffs genommen würden, keine Volta'schen Effecte zum Vorschein kämen; daſs auch Sauerstoff und Stickstoff keine Wirkung gäben, daſs aber Wasserstoff und Stickstoff einen Volta'schen Strom hervorbrächten, welchen ich von der Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff der in der Lösung befindlichen atmosphärischen Luft ableitete. Diese Ansicht wird durch den gegenwärtigen Aufsatz fernerweitig bestätigt werden.

Den von dieser Batterie erzeugten Strom erklärte ich aus einer gleichen, aber der Art noch entgegengesetzten chemischen Synthesis, die in den abwechselnden Röhren an den Berührungspunkten des Gases, der Flüssigkeit und des Platins stattfinde, wobei der pulverförmige Platinüberzug [1]) den Nutzen habe, daſs er die Anzahl

1) Wegen der Darstellung dieses siehe Smee's Aufsatz im *Phil. Mag.* 1840, April. (Ann. Bd. 61, S. 593, Anmerkung.)

Digitized by Google

dieser Berührungspunkte vergröſsere, indem er durch Capillarattraction die Flüssigkeit an den Platinplatten heraufzieht.

Der Punkt, der mir damals am wichtigsten vorkam, war das in der fünften Wirkung gegebene schöne Beispiel einer Correlation von Naturkräften, wo Gase durch ihre Vereinigung und Flüssigwerdung eine Kraft übertragen, die fähig ist eine ähnliche Flüssigkeit zu zersetzen und deren Bestandtheile in Gas zu verwandeln. Wärme, chemische Action und Elektricität befinden sich hier in Durchdringung und gegenseitiger Abhängigkeit.

Der zu obigen Versuchen angewandte Apparat ward aus einigen gerade in meinem Laboratorium vorräthigen Röhren zusammengesetzt, und eignete sich nicht zu einer genauen Messung der absorbirten Gasvolume oder zum Beweise, daſs Faraday's Gesetz der festen Elektrolyse bei der Gasbatterie keine Ausnahme erleide. Seit der Abfassung jenes Aufsatzes habe ich, nach einigen fehlgeschlagenen Versuchen, Apparate construirt, durch welches ich im Stande war, dieses Gesetz zu bestätigen, und meine Untersuchungen auf die Natur der Volta'schen Gaswirkung auszudehnen. Ich fühlte mich um so mehr berufen, meine Versuche über diesen Gegenstand zu vervielfältigen, als von einem Elektrochemiker, vor dessen Meinung ich viele Achtung hege, ein Brief über die Gasbatterie veröffentlicht worden, worin die Wirkung derselben einer ganz anderen Ursache zugeschrieben wird, als ich angegeben habe.

Bald nach dem Erscheinen meines ersten Aufsatzes erhielt ich einen Brief von Hrn. Schönbein, der seitdem der Hauptsache nach gedruckt worden ist [1]). Schönbein spricht daselbst die Meinung aus, daſs in der Gasbatterie der Sauerstoff nicht unmittelbar zur Erzeugung des Stromes beitrage, sondern daſs dieser durch Verbindung des Wasserstoffs mit Wasser hervorgebracht werde.

1) *Phil. Mag.* 1843, März, *p.* 165. (Ann. Bd. 58, S. 361.)

Digitized by Google

Kürzlich habe ich von andern Physikern eine ähnliche Meinung äuſsern gehört, allein ich kann ihr nicht beipflichten, muſs vielmehr auf der in meinem ersten Aufsatz ausgesprochenen beharren. Die Gründe dazu wird man auf den folgenden Blättern finden.

Was die Apparate betrifft, so werde ich drei Formen der Gasbatterie beschreiben, mit deren beiden ersten ich alle meine Versuche angestellt habe; die letzte fiel mir erst während des Schreibens dieser Abhandlung bei. Bis jetzt habe ich noch nicht Gelegenheit gehabt, sie zu prüfen [1]), allein sie scheint mir von allen die beste zu seyn, obwohl ohne Zweifel bald vorzüglichere werden erfunden werden.

Fig. 3, Taf. III, stellt eine dieser Formen vor; *abcd* ist eine weitmündige Glasflasche, worin ein hölzerner Stöpsel *ab* mittelst angesetzter Korkstücke dicht schlieſst. Dieser Stöpsel hat zwei Löcher zur Aufnahme der fest darin eingekitteten Röhren *o* und *h*, deren Weite eine solche ist, daſs *h* doppelt so viel faſst als *o*. Fig. 4 zeigt den hölzernen Deckel im Grundriſs; das Stück *f* kann nach Belieben abgenommen werden, um eine Röhre zur Ladung des Apparats mit Gas hineinzuführen; *pr*, *p'r'* sind wohlplatinirte Platinstreifen, etwas gekrümmt wie eine Käseschaufel (*cheese scoop*), um sie mitten in der Röhre aufrecht hinzustellen, und genietet oder geschweiſst an dicke Platindrähte, die hermetisch in das Glas eingeschmolzen sind und bei *g*, *g* in messingenen Quecksilbernäpfen enden. Das Laden dieser Batterie geschieht, indem man sie zunächst umkehrt, so daſs sich die Röhren mit der Flüssigkeit füllen; nach Wiederaufrichtung führt man die Gase aus einer Blase mittelst einer gekrümmten Röhre in die Röhren. Fig. 3 stellt den Apparat als geladen und zum Gebrauche fertig dar, und Fig. 5 zeigt eine Batterie von fünf so geladenen Zellen.

Der Vorzug dieser Form vor der, welche ich sogleich

1) Siehe die Nachschrift.

Digitized by Google

beschreiben werde, besteht in der Leichtigkeit, mit welcher die Röhren mit Flüssigkeit gefüllt werden, ohne daſs man nöthig hat, die Elektrolyten mit den Fingern zu berühren. Andrerseits hat sie den Nachtheil, daſs es schwer hält, die Gase nach dem Versuch zu untersuchen, ja daſs dieſs während der Versuche ohne Aenderung des Elektrolyten unmöglich ist, da man, um die Gase zu untersuchen, den ganzen Apparat in einem Wassertrog umkehren, und, während die Flasche nebst den Enden der Röhren unter Wasser sind, den Deckel mit seinen Röhren abnehmen muſs.

Fig. 6, Taf. III, stellt eine Zelle der zweiten Form dar; *b, c, d, e* ist ein gläserner oder irdener Kasten, wie man gewöhnlich zu den äuſseren Zellen der Salpetersäure-Batterie anwendet. Die Röhren sind in Holzstücke *a b*, *a c* eingekittet, und können einzeln mit ihrem Holze abgenommen werden, wie Fig. 7 zeigt. An der Oeffnung *a a* ist gerade so viel Raum, um einen Finger hineinzustecken, damit die Mündung der einen oder anderen Röhre zu verschlieſsen, und sie aus dem Apparat zu heben. In dieser Figur ist das Platinblech, statt an einem in das Glas eingeschmolzenen Draht befestigt zu seyn, um den Rand der Röhre zurückgebogen, und die Verbindung geschieht, statt des Quecksilbernapfs, durch eine Schraube. Dieser Theil der Vorrichtung kann indeſs mit dem des anderen Apparats vertauscht, oder nach Belieben verändert werden. Diesen Apparat habe ich in Praxis weit bequemer gefunden, als den ersten, da es leicht ist, jede der Röhren heraus zu nehmen, sie mit Gas zu füllen, das Niveau des Wassers erforderlichenfalls zu ändern, das Gas in den Röhren zu untersuchen oder zu vertauschen. Andrerseits hat er den Nachtheil, zur Eintauchung der Röhren in den Elektrolyten einen Finger zu erfordern, was, wenn der Elektrolyt einen strengen Charakter hat, unangenehm und selbst schädlich seyn kann. Fig. 8 zeigt eine Batterie von fünf solchen Zellen, ge-

Digitized by Google

laden mit Sauerstoff und Wasserstoff, und verbunden mit einem Voltameter (Fig. 9), dessen Röhren von gleicher Gröſse sind wie die der Batterie.

Bei der zuletzt beschriebenen Form (Fig. 6 und 8, Taf. III) waren alle Röhren nahezu von gleicher Form, wie ich sie mir verschaffen konnte; jede faſste etwa 1,5 Kubikzoll. Bei der ersten Form (Fig. 3 und 5) faſste das Stück *or* der engeren Röhre 1,25 Kubikzoll, und das Stück *hr'* der weiteren Röhre 2,5 Kubikzoll. Ein Theil des Apparats, mit dem ich arbeitete, war von mir für das *London Institution* angeschafft worden; ein anderer gehörte Hrn. Gassiot, der ihn gütigst zu meiner Verfügung stellte. Hätte ich diese werthvolle Hülfe nicht gehabt, so wäre ich genöthigt gewesen, alle meine Versuche in einem viel kleineren Maaſsstabe anzustellen; sie würden mehr Zeit gekostet haben und dennoch lange nicht so genügend ausgefallen seyn.

Wie schon gesagt, fiel mir während der Abfassung dieses Aufsatzes eine dritte Form ein, welche ich in manchen Beziehungen für vortheilhafter halte als jede der beiden vorhergehenden. Da einige Zeit verstreichen kann, ehe ich selbst mit ihr zu experimentiren vermag, so will ich sie zum Nutzen Derer, die in anderer Lage sind, hier beschreiben. Fig. 10, Taf. III, zeigt eine Zelle derselben; *aa* ist eine dreihalsige Woulfe'sche Flasche. Der mittlere Hals ist durch einen Glasstöpsel *b* verschlossen, in den anderen stecken zwei Glasröhren *o* und *h*, die mittelst angeschmolzener und auswärts abgeschliffener Glaskragen (*cc*, Fig. 11) genau schlieſsen. Das Platin ist oben hermetisch in die Röhren eingeschmolzen, und letztere können in ähnlicher Weise wie Fig. 3 geladen werden. Taucht man diesen Apparat in einen Wassertrog, so kann man jede Röhre ablösen und ihren Gasinhalt gesondert untersuchen; allein sein Hauptvortheil ist, daſs man ihn, durch schwaches Einfetten des Stöpsels und der Kragen, vollkommen luftdicht machen kann, was aus

Digitized by Google

Gründen, die weiterhin einleuchten werden, sehr wesentlich ist. Da überdieſs der Apparat gänzlich aus Glas und Platin besteht, so können, ohne Nachtheil für denselben und ohne fremdartige Stoffe einzuführen, concentrirte Säuren, alkalische oder andere ätzende Lösungen als Elektrolyte angewandt werden.

Bei den sogleich zu beschreibenden Versuchen wurden die Resultate gewöhnlich durch chemische Action ermittelt, durch Elektrolyse entweder von Jodkalium oder von Wasser. Ich hatte ein sehr empfindliches astatisches Galvanometer zu meiner Verfügung, fand dasselbe aber durch locale Actionen so gestört, daſs in jedem Fall eine Reihe von Probeversuchen nöthig war, um die wahre Action der Batterie von den zufälligen Strömen zu sondern. Ungeachtet aller darauf verwandten Mühe waren die Resultate weniger scharf und zuverlässig, als die mit dem Jodid erhaltenen.

Ich muſs hier auch sagen, daſs während die in meinem ersten Aufsatz beschriebene Batterie, bei Ladung mit Sauerstoff, Wasserstoff und verdünnter Schwefelsäure, das Wasser nicht eher merklich zersetzte, als wenn sie aus 26 Zellen bestand, die neue, wegen ihrer besseren Gröſse und Einrichtung, bei derselben Ladung, schon mit 4 Zellen diese Zersetzung hervorbrachte, und eine einzige Zelle schon das Jodkalium zerlegte.

Versuch 1. — Zehn Zellen, geladen bis zu einem gewissen Zeichen auf der Röhre mit verdünnter Schwefelsäure von 1,2 spec. Gew., Sauerstoff und Wasserstoff, wurden mit einem eingeschalteten Voltameter [1]) zur Bat-

1) Diese Versuche wurden mit der Batterie Fig. 5, Taf. III, angestellt, allein um die Volume der Gase deutlicher zu zeigen ist die zweite Form in Fig. 8 und 9 abgebildet. Das hiebei angewandte Voltameter hat Elektroden von feinem Platindraht, ein Viertelzoll lang. Vermöge der Natur der Gasbatterie ist es schwer, die wirksame Fläche der Platten anzugeben. Bei gewöhnlichen Batterien habe ich gefunden und vor einiger Zeit angegeben, daſs zu quantitativen Effecten

Digitized by Google

terie geschlossen, wie in Fig. 8 und 9, Taf. III, und 36 Stunden stehen gelassen. Am Ende dieser Zeit waren 2,1 Kubikzoll Knallgas im Voltameter entwickelt. In jeder der Wasserstoff-Röhren der Batterie war die Flüssigkeit um 1,5 Kubikzoll gestiegen, in den Sauerstoff-Röhren um 0,7 Kubikzoll, zusammen also um 2,2 Kubikzoll. Es war also in den Batterie-Röhren 0,1 Kubikzoll Wasserstoff mehr verschwunden, als im Voltameter entwickelt worden.

Dieser Versuch wurde mehrmals im Allgemeinen mit demselben Erfolg wiederholt. In nachstehender Tafel gebe ich einige derselben.

In der Batterie absorbirt		Im Voltameter entwickelt		Zeit.	Zahl der
Sauerstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.	Wasserstoff.	Stunden.	Zellen.
0,7 Kbzll.	1,4 Kbzll.	0,7 Kbzll.	1,4 Kbzll.		
0,5	1,2	0,5	1,1		
0,6	1,4	0,6	1,3	36	10
0,6	1,3	0,5	1,2		
0,6	1,4	0,6	1,3		
		Mittel			
0,6	1,34	0,58	1,26		

Allgemein läſst sich bei diesen Versuchen bemerken, daſs der im Voltameter entwickelte Wasserstoff etwas mehr als das doppelte Volum des Sauerstoffs beträgt, und daſs auſserdem noch eine Quantität Wasserstoff in der Batterie verschwunden ist. Was den Ueberschuſs des Wasserstoffs im Voltameter betrifft, so ist er, wie alle Galvaniker wissen, immer bei der Elektrolyse des Wassers zu beobachten, und wird von Faraday der leichteren Löslichkeit des Sauerstoffs und dessen Streben zur Bildung von oxydirtem Wasser zugeschrieben [1]). Allein bei den obigen Versuchen haben wir in der Batterie ei-

die Elektroden von gleicher Gröſse mit den Platten der Batterie seyn müssen. (Es schadet aber auch nicht, wenn sie gröſser sind. *P.*)

1) Experimental-Untersuchungen, §§. 716 und 717. (Annal. Bd. 33, S. 321.)

Digitized by Google

nen noch gröſseren Ueberschuſs an absorbirtem Wasserstoff. Dieſs Resultat hatte ich aus früheren Versuchen erwartet. Bei einem derselben erhielt ich mit Röhren, die abwechselnd mit Wasserstoff und Wasser geladen waren, eine Volta'sche Action, und ich schrieb dieselbe der Vereinigung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff der gelösten atmosphärischen Luft zu [1]). Angenommen für den Moment, diese Erklärung sey richtig, so haben wir in einer mit Sauerstoff und Wasserstoff geladenen Gasbatterie nach der Schlieſsung drei besondere Volta'sche Actionen: Erstens als hauptsächlichste die Action der Gase in den Röhren auf einander durch das Mittel des Elektrolyten, d. h. eine Wirkung, bei welcher die den Gasen ausgesetzten Theile pq, $p'q'$ (Fig. 6) des Platins die wirksamen Platten sind. Zweitens eine Action zwischen dem Wasserstoff bei $p'q'$ und der gelösten Luft in der Nähe des eingetauchten Theils der Platte pr; sie würde den allgemeinen Strom unterstützen, aber den Wasserstoff auſser Verhältniſs vermindern. Drittens eine locale Action zwischen dem Wasserstoff bei $p'q'$ und der Luft in der Lösung rings um den Theil $q'r'$; diese würde nichts zu dem allgemeinen Strom beitragen, aber ebenfalls den Wasserstoff verringern. Da die letztere ganz unabhängig ist von der allgemeinen Wirkung, so konnte sie dadurch bestimmt werden, daſs eine einzelne, ähnlich wie die Batterie geladene Zelle ungeschlossen wie Fig. 3, Taf. III, hingestellt wurde; in einer solchen Zelle fanden sich innerhalb 24 Stunden etwas mehr als 0,1 Kubikzoll Wasserstoff absorbirt.

In einigen Fällen war die Flüssigkeit in den verschiedenen Wasserstoff-Röhren der Batterie zu ungleicher Höhe gestiegen, besonders bei der Batterie Fig. 6, Taf. III. Erst vor einiger Zeit entdeckte ich die Ursache hievon. Ich will nicht alle meine Muthmaſsungen aufzählen, sondern nur die anführen, welche sich als richtig bewies.

1) *Phil. Mag. Dec.* 1842, *Exp.* 11. (Ann. Bd. 58, S. 204.)

Da der Hauptunterschied bei dem Gebrauch der beiden Batterien (Fig. 3 und 6) in der Einführung des Fingers besteht, so kam ich auf den Gedanken, die Hände meines Gehülfen, der mit verschiedenen Manipulationen beschäftigt war, möchten beim Einsetzen der Röhren in die Zellen (Fig. 6) geringe Antheile fremder Stoffe, besonders Metalle, in den Elektrolyten bringen, und somit eine locale Action veranlassen. Diese Ansicht bestärkte sich mir, als ich häufig Kupfer auf einige der eingetauchten Theile des Platins abgelagert fand, und wo dieſs geschehen war, zeigte sich in der Regel ein Ueberschuſs an absorbirtem Wasserstoff. Um die Richtigkeit dieser Ansicht zu prüfen, unternahm ich den

Versuch 2. — Vier Zellen, geladen mit einer Lösung von Kupfervitriol, wurden zur Batterie geschlossen. Nach 24 Stunden war die Flüssigkeit in den Sauerstoff- und Wasserstoff-Röhren dreier Paare zu gleicher Höhe aufgestiegen, allein bei dem vierten Paare hatte sich die Flüssigkeit in der Wasserstoff-Röhre mehr als doppelt so hoch als in einer der andern erhoben, und zugleich war das Platin in dieser Röhre vom Wasserspiegel abwärts ganz mit metallischem Kupfer bekleidet. Offenbar hatte eine schwache Fällung auf dieses Platin begonnen, aus irgend einem örtlichen Umstand, der in dieser Zelle einen geringeren Widerstand als in den übrigen bewirkte, es hatte sich ein örtlicher Strom eingestellt, Wasserstoff und Kupfer hatten als Volta'sche Kette gewirkt, und frisches Kupfer war beständig auf Kosten des Wasserstoffs desoxydirt. Die Erscheinung ist vollkommen derjenigen analog, welche man bei der gewöhnlichen Kupfervitriol-Batterie beobachtet, wenn sich etwas Kupfer auf das Zink ablagert; es stellt sich dann ein örtlicher Strom ein, welcher das Zink zerfriſst, ohne etwas zu dem allgemeinen Strom beizutragen (vielmehr diesen schwächt, *P.*).

Ich bin hier so umständlich gewesen, um die Punkte in der Wirkung dieser Batterie zu erklären, welche von

dem Gesetz der festen Elektrolyse oder hier vielmehr Elektrosynthese, Ausnahmen zu machen scheinen. Im Allgemeinen war die aequivalente Wirkung der Batterie sehr schön. Bei 50 Zellen in Thätigkeit zeigte sich in dem Steigen der Flüssigkeit in allen Zellen nur ein unbedeutender Unterschied, und das Steigen des Gases in dem Voltameter schien so direct proportional zu seyn, daſs ein mit der Volta'schen Batterie nicht vertrauter Beobachter gesagt haben würde, die Gase aus den äuſseren Zellen der Batterie würden durch die Drähte in das Voltameter geführt; und wäre dieſs die zuerst erfundene Volta'sche Batterie gewesen, würde wahrscheinlich die Theorie ihrer Wirkung so gelautet haben.

In meinem ersten Aufsatz betrachtete ich als Punkte der Volta'schen Action diejenigen, wo sich Flüssigkeit, Gas und Platin berühren, und eben um die Zahl dieser Punkte zu vermehren, wandte ich platinirtes oder schwammförmiges Platin an. In der That muſs ich auch aus dem, was ich seither beobachtet habe, stark bezweifeln, ob ich irgend einen Erfolg gehabt haben würde, wenn ich glattes Platin angewandt hätte. Die beim letzten Versuch erwähnte örtliche Wirkung machte mich jedoch begierig zu ermitteln, ob die hauptsächlichsten Wirkungspunkte in der That die seyen, welche ich anfänglich dafür gehalten, oder ob die Gase erst gelöst, und dann elektrosynthetisch mit dem eingetauchten Theil des Platins verbunden würden, ob z. B. die wirksamen Theile der Platten die Theile $p\,q$ und $p'\,q'$ (Fig. 6) oder $q\,r$ und $q'\,r'$ seyen. Zu dem Ende stellte ich folgenden Versuch an:

Versuch 3. — Ich construirte eine Batterie von fünf Zellen, in welchen das Platin nur bis zur halben Höhe der Röhre hinaufreichte (Fig. 12, Taf. III), und lud sie so weit mit Sauerstoff und Wasserstoff, daſs die Flüssigkeit eben die Enden des Platins bedeckte. In diesem Fall haben wir nur die eingetauchten Theile $q\,r$, $q'\,r'$ des Platins, und können die Wirkung der Gase untersuchen,

Digitized by Google

welche gelöst sind und vor ihrer Lösung nicht vom Platin afficirt werden. Die so geladene Batterie gab eine sehr unbedeutende Wirkung; sie zersetzte Jodkalium nicht, wirkte indeſs noch auf ein sehr empfindliches Galvanometer. Als aber etwas Gas hinzugesetzt wurde, so daſs das Platin in die Gasatmosphäre hineinreichte, wurde ein bedeutender Strom entwickelt, so daſs ein einzelnes Paar das Jodid zersetzte.

Als ferner die Batterie Fig. 12 so geladen wurde, daſs der Wasserspiegel unter dem oberen Rand des Platins lag, und man nun die Enden zur Kette schloſs, stieg in beiden Röhren die Flüssigkeit, bis sie in der Wasserstoff-Röhre den Gipfel des Platins erreicht hatte, und nun hörte das Steigen auf. Dieser Versuch entscheidet die Frage in Betreff, was als wirkender Theil der Batterie zu betrachten ist, aber er entscheidet nicht positiv, ob Lösung und Elektrolyse gleichzeitig oder successive geschehen, da man sagen kann, selbst die von mir als entblöſst betrachteten Theile des Platins seyen mit einer Flüssigkeitsschicht bedeckt gewesen. Für jetzt nehme ich Anstand hierüber eine entscheidende Meinung auszusprechen; mein erster Gedanke war, daſs es hier gleichsam drei Reihen von Contactpunkten gäbe, allein ich habe keinen Versuch ersinnen können, um dieſs entschieden nachzuweisen [1]).

Ich suchte nun die Analogie dieser Batterie mit der gewöhnlichen Volta'schen fernerweitig festzustellen, d. h. in wieweit die Wasserstoff-Röhre als analog der Platte von Zink oder einem anderen oxydirbaren Metall an der Anode zu betrachten sey. Dieſs zeigte sich schön aus

Versuch 4. — Hiebei war ein Paar mit Sauerstoff und Wasserstoff geladen, und ein zweites in der einen

1) Wenn ein Gemeng von Sauerstoff- und Wasserstoffgas in Einer Röhre der Gasbatterie über destillirtem Wasser aufgefangen wurde, habe ich zuweilen bemerkt, daſs die Gase auf Zusatz von etwas Schwefelsäure rasch verschwanden.

Digitized by Google

Röhre mit Wasserstoff und in der andern bloſs mit verdünnter Schwefelsäure. Als ich, wie in Fig. 13, den Wasserstoff der zweiten mit dem Sauerstoff der ersten, und die Flüssigkeit der zweiten mit dem Wasserstoff der ersten metallisch verband, stiegen vom Platin Gasblasen auf, die sich, wie ich vermuthet hatte, als Wasserstoff ergaben. Kurz, während bei eingetauchten Platin-Elektroden vier Paare zur Wasserzersetzung erforderlich waren, so war hier, da sich das Platin in der Wasserstoff-Atmosphäre wie eine oxydirbare Anode verhielt, ein einziges Paar hinreichend das Wasser zu zersetzen, gerade wie ein einziges Paar einer gewöhnlichen Batterie das Wasser mit einer Anode von Kupfer zersetzt.

Da mich die Salpetersäure-Batterie, die ich zuerst i. J. 1839 beschrieb, den Werth der stark oxydirten Säuren und der Hyperoxyde als Volta'sche Erreger kennen lehrte [1]), so beschloſs ich die Analogie der Gasbatterie mit den gewöhnlichen Volta'schen Batterien weiter zu treiben und Salpetersäure als Elektrolyt in der ersten anzuwenden.

Versuch 5. — Deshalb lud ich in einer Batterie die Röhren abwechselnd mit Wasserstoff und Salpetersäure, die nur so weit verdünnt war, um die hölzernen Theile des Apparats gegen ihre Angriffe zu schützen. Bei dieser Anordnung fanden sich drei Zellen als hinreichend zur Wasserzersetzung; die Analogie hielt hier also Stich, indem das Wasserstoffgas die Salpetersäure eben so zersetzte, als es der freiwerdende Wasserstoff in den Metallbatterien thut.

Ich suchte nun die Wirkungen umzukehren, d. h. eine Batterie zu bilden, in welcher Sauerstoff das gasige Element wäre, und von einem Elektrolyt, der Verwandtschaft zu ihm besitzt, absorbirt würde.

Versuch 6. — Zu dem Ende lud ich in einer Bat-

1) *Phil. Mag.* Mai und October 1839, *p.* 389 und 290. (Annalen Bd. 48, S. 300.)

Digitized by Google

terie von zehn Zellen die eine Reihe der Röhren mit Sauerstoff und die anderen mit einer Lösung von Eisenvitriol. Diese Batterie zersetzte Jodkalium, vermochte aber nicht Wasser zu zerlegen. Die Röhren, welche die Vitriollösung enthielten, repräsentirten die Wasserstoff-Röhren der gewöhnlichen Gasbatterie. Die vom Wasserstoff und Eisenoxydul bewirkte Volta'sche Action war indefs nur temporär [1]). Nach wenigen Stunden erlosch sie, kein Jodid ward mehr zersetzt, und die Flüssigkeit stieg nicht mehr wahrnehmbar in den Sauerstoff-Röhren. Bei Prüfung der Lösung mit Kaliumeisencyanid entstand ein blauer Niederschlag, zum Beweise des Daseyns von Eisenoxyd, allein der gröfsere Theil dieses letzteren war wahrscheinlich auf Kosten der atmosphärischen Luft gebildet.

Bei dem letzten und bei anderen Versuchen hatte ich beobachtet, dafs eine entschiedenere Wirkung erhalten wurde, wenn freier Wasserstoff allein zugegen war, als wenn freier Sauerstoff allein sich anwesend befand. In meinem früheren Aufsatz schrieb ich diefs der in der Lösung vorhandenen atmosphärischen Luft zu, und dieselbe Erklärung nahm ich zu Anfange dieser Abhandlung an, allein ein neulicher Brief vom Dr. Schönbein veranlafste mich diesen Punkt näher zu erforschen.

Versuch 7. — Deshalb lud ich zwei Batterien, jede von zwei Zellen, in den abwechselnden Röhren mit Wasserstoff und verdünnter Schwefelsäure. Bei Prüfung mit Jodkalium gab jede Batterie bedeutende Wirkungen. Nun setzte ich eine dieser Batterie, sammt einem Napf mit Phosphor, in eine Schale mit Wasser, zündete den Phosphor an und stülpte ein grofses Glasgefäfs über das Ganze. Die Enddrähte der Batterie, durch dicke Ueberzüge von Kitt sorgfältig geschützt, gingen unter dem Rand dieses

1) Im Versuch 26 wird man sehen, dafs von Sauerstoff und einer Flüssigkeit (Ammoniak) ein *continuirlicher* Strom erhalten wird; der Sauerstoff giebt auch einen Strom mit einer Lösung von Cyan und wahrscheinlich mit manchen organischen Verbindungen.

Digitized by Google

Gefäſses durch das Wasser, dessen äuſsere Oberfläche mit Oel bedeckt war, um noch besser die Absorption der Luft zu verhüten. Dann wurden die Enddrähte mit einander verknüpft. Nach zwei Stunden, als der Sauerstoff der umgebenden Luft durch den Phosphor absorbirt worden war, wurde die Wirkung schwächer, hielt aber den ganzen Abend hindurch an. Am anderen Morgen jedoch gab die eingeschlossene Batterie nicht mehr die geringste Wirkung auf das Jodid; die Flüssigkeit war in den Wasserstoff-Röhren etwa 0,2 Kubikzoll gestiegen, sonst war kein Effect sichtbar.

Andrerseits gab eine danebenstehende Batterie, die in ähnlicher Weise geladen und sonst in jeder Hinsicht der ersteren ähnlich war, nur daſs sie der atmosphärischen Luft ausgesetzt blieb, eine sehr entschiedene Wirkung; an einem der Platinstreifen hatte sich gegen 0,3 Kubikzoll Wasserstoff entwickelt und Jodkalium war merklich zersetzt. In diesem Zustand wurden die beiden Batterien noch drei Tage lang stehen gelassen. Die Zersetzung und die Wasserstoffentwicklung hatten in der entblöſsten Batterie ihren Fortgang genommen, aber die eingeschlossene zeigte nichts von alledem, obwohl die Flüssigkeit in den Wasserstoff-Röhren etwas stärker, nämlich 0,1 Kubikzoll, gestiegen war. Nach diesen vier Tagen wurde die mit Stickgas erfüllte Glocke, welche die Batterie bedeckte, fortgenommen, und die Wirksamkeit der Batterie durch Jodkalium geprüft. Anfänglich zeigte sich keine Wirkung, allein nach 15 Minuten war schon eine schwache wahrnehmbar, die allmälig zunahm und nach zwei Stunden derjenigen gleich war, welche die Batterie gab, als sie zuerst der Luft ausgesetzt ward.

Diesen Versuch kann ich nicht anders als eine entschiedene Widerlegung der Ansicht betrachten, welche Wasserstoff und Wasser für die wirksamen Bestandtheile der Gasbatterie hält. Die Ansicht scheint mir daraus entsprungen zu seyn, daſs wir immer in einer sauerstoffhal-

tigen Atmosphäre arbeiten, und auch daraus, daſs das Sauerstoffgas löslicher ist als das Wasserstoffgas [1]). Lebten wir in einer Atmosphäre von Wasserstoff, und wäre dieſs Gas eben so löslich als der Sauerstoff, so würden zweifelsohne die umgekehrten Erscheinungen beobachtet werden. Eine Batterie, geladen mit Wasserstoff in den einen Röhren und mit gesäuertem Wasser in den andern, kommt anfangs an Wirkung nahe der Sauer-Wasserstoff-Batterie gleich, aber diese Wirkung nimmt rasch ab, während sie in der letzteren beständig ist. Selbst die gewöhnliche Wirkung der Gasbatterie, wenn sie mit Sauerstoff und Wasserstoff geladen ist, scheint mir hinsichtlich des eben erörterten Punkts unwiderleglich. Sieht man bei einer geschlossenen Batterie die Flüssigkeit in den Sauerstoff-Röhren genau in dem Verhältniſs steigen, als Sauerstoffgas im Voltameter entwickelt wird, und sieht man andrerseits in einer ähnlichen Batterie, die eben so geladen, aber ungeschlossen ist, nicht das geringste Steigen in einer der Röhren eintreten, so scheint es, als könne man unmöglich den Schluſs ziehen, daſs der Sauerstoff nichts mit dem Strom zu thun habe. Wir haben hier keine schwachen galvanoskopischen Wirkungen, sondern chemische Wirkungen, die einer genauen Messung fähig sind, deren Ausdehnung nur durch die Gröſse der Apparate beschränkt wird, und die den im Voltameter beobachtbaren Wirkungen aequivalent sind. Wenn andrerseits nur Wasserstoff und Wasser die activen Elemente wären, was würde aus dem Wasserstoff? Verbände er sich mit dem Wasser, so würden wir hiedurch ohne Zweifel im Stande seyn, ein Wasserstoffsuboxyd darzustellen [2]), von

1) Die Tendenz des Sauerstoffs sich mit Platin zu verbinden mag auch von Einfluſs seyn. Siehe De la Rive's verschiedene Versuche über diesen Gegenstand (Ann. Bd. 54, S. 378.).

2) Aus einem neueren Aufsatz des Dr. Schönbein (*Archiv. de l'électricit. No.* 7, *p.* 73. — Ann. Bd. 58, S. 365.) ersehe ich, daſs er glaubt, es sey der Fall.

von dessen Bildung ich aber in der langen Reihe meiner über diesen Gegenstand angestellten Versuche nicht die geringste Anzeige wahrgenommen habe. Selbst wenn wir annehmen, die Wirkung des Sauerstoffs sey eine depolarisirende, wie es Dr. Schönbein glaubt, so läuft dieſs auf eins hinaus, denn diese Depolarisation kann nur erklärt werden als vollzogen durch eine Verbindung des Sauerstoffs mit dem Wasserstoff, und wir könnten umgekehrt annehmen, diese Vereinigung des Sauerstoffs mit dem Wasserstoff sey die Ursache des Stromes, und die Depolarisation geschehe in den Wasserstoff-Röhren. Es scheint mir, daſs die Wirkungen an der Anode und Kathode in gegenseitiger Abhängigkeit stehen. Die Sache scheint mir so klar, daſs ich nicht in das Detail eingegangen seyn würde, hätte Dr. Schönbein nicht den erwähnten Brief veröffentlicht, und wäre die Ueberlegenheit des Wasserstoffs nicht schon beim ersten Blick so sehr auffallend.

Nachdem ich die Ursache der Wirkung der Gasbatterie bestätigt hatte, suchte ich sie auf andere Gase anzuwenden, und lieſs daher Apparate von zehn Zellen mit solchen Gasen laden, die unlöslich genug waren, um eine für die Untersuchung hinlängliche Zeit in den Röhren zu verbleiben. Neben der Batterie von 10 Zellen war bei allen folgenden Versuchen auch eine einzelne Zelle mit denselben Gasen und demselben Elektrolyt geladen, aber ungeschlossen aufgestellt. Somit konnten denn, nachdem die Batterie einige Zeit geschlossen worden, durch den Vergleich der darin stattgehabten Veränderungen mit denen in der einzelnen und ungeschlossenen Zelle, die durch Lösung, locale Ströme oder andere Ursachen hervorgebrachten Wirkungen von denen der circulirenden Volta'schen Thätigkeit abgezogen werden.

Die folgenden Versuche gebe ich in der Ordnung, in welcher sie angestellt sind, begleitet von den nöthigen Erläuterungen. Wenn es nicht eigends anders erwähnt

wird, bestand der Elektrolyt aus verdünnter Schwefelsäure von 1,2 spec. Gew.

Versuch 8. — Eine Batterie, geladen mit *Sauerstoff* und *Stickstoffoxydul*, brachte keine Wirkung auf Jodkalium hervor. Bei Untersuchung am anderen Tage zeigte sich in den Sauerstoff-Röhren nichts gestiegen, dagegen hatte in den Stickstoffoxydul-Röhren, sowohl der Batterie als der ungeschlossenen Kette, ein Steigen von durchschnittlich 0,3 Kubikzoll stattgefunden.

Versuch 9. — *Sauerstoff* und *Stickstoffoxyd* gaben eine geringe Wirkung auf Jodkalium, die jedoch einige Minuten nach der Schlieſsung aufhörte. Nach 24stündiger Schlieſsung der Batterie war die Flüssigkeit in den Sauerstoff Röhren um nichts gestiegen; in den Stickstoffoxyd-Röhren hatte sich dagegen die Flüssigkeit durchschnittlich um 0,2 Kubikzoll gehoben. In der ungeschlossenen Kette war ein Steigen von gleichem Betrage eingetreten, und zuletzt geschlossen, gab sie nicht die leiseste Volta'sche Wirkung.

Versuch 10. — *Sauerstoff* und *ölbildendes Gas* zersetzten Jodkalium, aber etwas schwach. Noch nach 24stündiger Schlieſsung zeigte sich eine Zersetzung, jedoch eine äuſserst schwache. Zwei der Zellen wurden noch 15 Tage lang in Schlieſsung erhalten, während eine dritte ungeschlossen daneben stand. Nach Verlauf dieser Zeit betrug das Steigen der Flüssigkeit in den

	der geschloss. Batterie.	der ungeschloss. Zelle.
Röhren mit Sauerstoff . . .	0,05 Kbz.	0,02 Kbz.
do. mit ölbildendem Gas	0,4 -	0,3 -

also anscheinend das Steigen vermöge Volta'scher Action

in den Röhren mit Sauerstoff	0,03 Kbz.
in denen mit ölbildendem Gas . . .	0,1 -

Diese Gröſsen sind zu klein, als daſs daraus irgend ein genügender Schluſs rücksichtlich der zur Elektrolyse beitragenden Aequivalente dieser Gase abgeleitet werden

Digitized by Google

könnte, um so mehr als das Steigen der Flüssigkeit nicht ganz gleichförmig geschah und die Wirkung der Lösung gröſser war als die der Elektrolyse. Ich kann aus diesem Versuch keinen anderen Schluſs ziehen, als daſs die angewandten Gase einen sehr schwachen Volta'schen Strom erregten. Der Rückstand des Sauerstoffs und des ölbildenden Gases war unverändert.

Versuch 11. — *Sauerstoff* und *Kohlenoxyd* gaben eine beträchtliche Wirkung auf Jodkalium und schwache Anzeigen von Wasserzersetzung, denn an den Elektroden des eingeschalteten Voltameters erschienen einige Blasen. Die Wirkung war anhaltend und nach Verlauf von 15 Tagen war der Zustand der Röhren in der Batterie und in zwei danebenstehenden ungeschlossenen Zellen folgender:

	Steigen der Flüssigkeit in der geschloss. Batterie.	Steigen der Flüssigkeit in der ungeschloss. Zelle.
Beim Sauerstoff . . .	0,12 Kbz.	0,02 Kbz.
- Kohlenoxyd . .	0,93 -	0,7 -

also anscheinend das Steigen vermöge Volta'scher Action

in den Röhren mit Sauerstoff . . . . 0,1 Kbz.

- - - - Kohlenoxyd . . . 0,23 -

Vor dem Laden der Batterie war das Kohlenoxyd sorgfältig durch Aetzkali von Kohlensäure befreit worden. Nach dem Versuch gab die Flüssigkeit einen geringen Niederschlag mit Kalkwasser, zum Beweise, daſs durch die Volta'sche Action Kohlensäure gebildet worden war. Das Steigen der Flüssigkeit in den verschiedenen Röhren war bei diesem Versuch gleichförmiger als bei dem vorhergehenden. Auch war die Wirkung entschiedener, und wenngleich gering, doch bestimmter. Denn wir haben das Verhältniſs 1 : 2,3, was, wenn wir die örtliche Wirkung des Sauerstoffs der gelösten Luft berücksichtigten, dem Verhältniſs 1 : 2, in welchem sich Sauerstoff und Kohlenoxyd verbinden, so nahe kommt, als man nur erwarten kann. Die Wirkung des Kohlenoxyds, obwohl

Digitized by Google

sehr schwach im Vergleich zu der des Wasserstoffs, ist doch viel bedeutender als die des ölbildenden Gases.

Versuch 13 [1]). — *Sauerstoff* und *Chlor*. Anfangs sehr bedeutende Wirkung auf Jodkalium, die aber schon in der ersten Stunde abnahm und nach 24 Stunden ungemein schwach, kaum wahrnehmbar war. In den Chlor-Röhren war das Wasser ganz hinaufgestiegen, in den Sauerstoff-Röhren hatte es aber seinen Stand nicht geändert. Das Chlor war negativ gegen den Sauerstoff, oder anders gesagt, der Sauerstoff verhielt sich voltaisch zum Chlor, wie der Wasserstoff zum Sauerstoff. Da bei diesem Versuch der Wasserstand in den Sauerstoff-Röhren ungeändert blieb, so scheint es, als habe dieſs Gas wenig mit der Action zu schaffen.

Versuch 14. — Ladung der abwechselnden Röhren einer Batterie mit *Chlor* und *verdünnter Schwefelsäure*. Die Wirkung war eben so beträchtlich als im Versuch 13, und auch eben so vorübergehend. An den Platinstreifen der Sauerstoff-Röhren erschienen ein Paar Gasblasen, doch zur Untersuchung in nicht hinlänglicher Menge. Da das Chlor bekanntlich für sich das Wasser, unter Bildung von Chlorwasserstoffsäure und Entwicklung von Sauerstoff, schwach zersetzt, so rührte die beobachtete Volta'sche Wirkung ohne Zweifel aus dieser Ursache her. Bei den verschiedenen mit Chlor angestellten Versuchen war anscheinend kein Angriff des Platins zu bemerken. Es giebt indeſs ein so geringer chemischer Proceſs zu Volta'schen Wirkungen Anlaſs, daſs die scheinbare Abwesenheit eines Angriffs nichts Entscheidendes hat. Die Chemiker geben an, das Platin werde nicht vom Chlor als Gas angegriffen, sondern nur, wenn es sich im Entstehungszustand befinde. Es ist jedoch nicht erwiesen, daſs nicht in der Gasbatterie das Chlor im ersten Augenblick der Elektrosynthese hinsichtlich seiner chemischen Kräfte in einem analogen Zustande ist als dem sogenannten Ent-

1) Versuch 12 fehlt im Original. *P.*

Digitized by Google

stehungszustand, und daher können wir die Möglichkeit eines Angriffs auf das Platin nicht abläugnen. Dieser Umstand, verbunden mit seiner groſsen Löslichkeit und dem Vermögen der Wasserzersetzung, macht das Chlor zu einem ungenügenden Element für die Klasse der durch die Gasbatterie entwickelten Actionen.

Brom, Chlor und Jod sind rücksichtlich ihrer Volta'schen Relationen im aufgelösten Zustande (wie ich glaube von Hrn. Schönbein und Hrn. Becquerel) schon früher untersucht, aber nicht im Gaszustande, oder, um mich vorsichtiger auszudrücken, im Uebergangszustand vom Gasigen in das Flüssige. Deshalb stellte ich den folgenden Versuch an.

Versuch 15. — Die einen Röhren wurden mit *gasigem Chlor*, die anderen mit Lösungen von *Brom* oder *Jod* gefüllt. Gegen beide verhielt sich das Chlor negativ, d. h. wie Sauerstoff gegen Wasserstoff.

Nun versuchte ich *Wasserstoff* mit verschiedenen Gasen, allein da es zunächst sehr schwierig (ich fand ganz unmöglich) war, bei Versuchen in gröſserem Maaſsstabe die atmosphärische Luft vollkommen von der Lösung auszuschlieſsen [1]), so entstand jedesmal eine Volta'sche Action, und da mit einer Ausnahme (des Chlors) der Sauerstoff das kräftigste elektronegative Gas ist, so versteckte die Wirkung der atmosphärischen Luft eine jede, die etwa von einem andern Gase hervorgebracht wurde [2]). Deshalb werde ich diese Versuche nicht im Detail beibringen, sondern nur zwei anführen, die mir aus weiterhin anzugebenden Gründen interessant scheinen.

1) Gase kriechen vermöge einer Art Endosmose durch Wasser. Vor einiger Zeit hielt ich ein Gefäſs, welches durch eine Scheidewand aus porösem Thon in zwei Zellen getheilt war, zwei Monate über Wasser umgestülpt. Die Scheidewand war durch Capillaranziehung beständig naſs, an ihrer einen Seite befand sich Sauerstoff, an der andern Wasserstoff. Nach Ablauf jener Zeit war das Wasser bedeutend gestiegen, und das Gas an beiden Seiten lieſs sich verpuffen

2) Siehe die Nachschrift.

Digitized by Google

Versuch 16. — *Chlor* und *Wasserstoff* geben, wie schon Hr. Schönbein vermuthete[1]), sehr kräftige Wirkungen. Zwei Zellen zersetzen schon das Wasser zwischen Platinplatten. Dieſs ist die kräftigste Gasbatterie[2]), aber, aus den beim Versuch 13 angegebenen Gründen, nicht die genügendste.

Versuch 17. — *Wasserstoff* und *Kohlenoxyd* wurden auf ihre Volta'schen Relationen untersucht. Der Wasserstoff war viel elektro-positiver als das Kohlenoxyd, oder vielmehr bildete mit dem Sauerstoff der gelösten Luft eine Verbindung, welche die entgegengesetzte Tendenz des Kohlenoxyds und der Luft überwältigte.

Versuch 18. — *Chlor* und *ölbildendes Gas* gaben eine sehr schwache Wirkung auf Jodkalium. Nach vier Stunden war bei der geschlossenen Batterie die Flüssigkeit in den das ölbildende Gas enthaltenden Röhren nicht höher gestiegen als bei einer ungeschlossenen Kette. Das Chlor war beinahe ganz von der Lösung absorbirt.

Versuch 19. — *Chlor* und *Kohlenoxyd* gaben sehr bedeutende Wirkungen. Zehn Zellen zersetzten Wasser. Wegen der ungemeinen Löslichkeit des ersteren Gases konnte aber das Aequivalentverhältniſs nicht ausgemittelt werden.

Nun fiel mir ein, daſs, da Sauerstoff und Wasserstoff durch Elektrolyse aus dem Wasser entwickelt wer-

1) *Phil. Magaz.* März 1843 (Ann. Bd. 62, S. 220.).

2) Das Chlor kann hinsichtlich seiner Volta'schen Relationen als das Gegenstück vom Zink angesehen werden; beide zersetzen das Wasser, allein das erstere entwickelt Sauerstoff, das letztere Wasserstoff. Eine Röhre der Gasbatterie, geladen mit Chlor und gesäuertem Wasser als Elektrolyt, bildet mit Zink als positivem Element eine Combination, von welcher ein einziges Paar schon Wasser zersetzt. Ich habe diese Combination practisch zu nutzen gesucht, indem ich die negativen Zellen einer Thonwandbatterie statt der Salpetersäure mit Salzsäure und Manganhyperoxyd lud, allein die Entwicklung von Chlor ist für quantitative Volta'sche Effecte unzureichend, obwohl die Intensität groſs ist.

den, und umgekehrt durch Elektrosynthese Wasser bilden, auch andere Gase, die durch Volta'sche Action aus gewissen Elektrolyten entwickelt werden, einen Strom geben möchten, wenn sie mit dem geeigneten Elektrolyten zu einer Batterie angeordnet würden, obwohl sie es vielleicht nicht thäten, wenn man sie mit einem anderen Elektrolyten combinirte.

Versuch 20. — Zu dem Ende wurden *Sauerstoff* und *Stickstoffoxyd* mit verdünnter *Salpetersäure* abwechselnd in die Röhren der Gasbatterie gebracht. Die Wirkungen waren indeſs genau so wie bei Versuch 8, d. h. sehr schwach auf einige Minuten, dann aufhörend, und ohne andauernden chemischen Proceſs.

Versuch 21. — Aus demselben Grunde wurden *Sauerstoff* und *Stickstoff* mit einer Lösung von *schwefelsaurem Ammoniak* versucht. Diese Combination gab anfangs eine schwache Wirkung auf Jodkalium, die aber bald aufhörte. Nach mehren Tagen war die Flüssigkeit in der geschlossenen Kette nicht stärker gestiegen als in der ungeschlossenen Kette; das Steigen war in beiden sehr unbedeutend (etwa 0,01 Kubikzoll) und hatte offenbar nichts mit der Volta'schen Action zu thun. Bei diesem, wie bei jedem angestellten Versuch habe ich in den ersten Minuten eine unbedeutende Wirkung wahrgenommen. Ich würde dieselbe zufälligen Umständen zuschreiben, z. B. geringen Unreinheiten der Gase, geringen metallischen Niederschlägen auf die Platten u. s. w., hätte sie nicht immer die von der Theorie angezeigte Richtung gehabt. So zeigte im vorliegenden Versuch das Auftreten des Jods, daſs der Sauerstoff dieselbe Volta'sche Relation zum Stickstoff hat, wie zum Wasserstoff. Die temporäre Wirkung scheint mir daher analog derjenigen, welche von den continentalen Physikern Polarisation genannt wird, eine scheinbare Tendenz zur Action, d. h. eine Anordnung der Theilchen vor der Elektrolyse, die aber unfähig ist einen anhaltenden Strom zu erzeugen.

Digitized by Google

Ich habe diese Wirkung sowohl bei obigem Versuch als bei vielen anderen mit der Gasbatterie beobachtet, war aber nie im Stande eine chemische Veränderung oder elektrosynthetische Absorption des Stickstoffs hervorzubringen.

Versuch 22. — Da Oxalsäure bei der Elektrolyse an der Anode ein Gemisch von Sauerstoff und Kohlensäure, und an der Kathode eins von Wasserstoff und Kohlenoxyd giebt, so lud ich aus oben angegebenen Gründen eine Gasbatterie mit *Kohlensäure* und *Kohlenoxyd* in den abwechselnden Röhren, und mit Oxalsäure als Elektrolyt. Es zeigte sich eine schwache Wirkung, bei welcher sich das Kohlenoxyd zur Kohlensäure verhielt wie Wasserstoff zum Sauerstoff. Allein der Strom entsprang offenbar aus der Verbindung der gelösten atmosphärischen Luft mit dem Kohlenoxyd. Dieſs erhellte aus einigen der zuvor erwähnten Probeversuche, welche ich nicht wieder aufzuzählen brauche.

Versuch 23. — *Wasserstoff*, *Stickstoff* und *schwefelsaures Ammoniak*. Auch diese Combination gab Wirkungen, mit welchem der Stickstoff nichts zu thun zu haben schien, da dessen Volum gänzlich unverändert blieb. Ich machte hierüber noch mehre Versuche, aber alle führten zu demselben Schluſs, nämlich, daſs meine Idee, Volta'sche Actionen durch Umkehrung der gewöhnlichen Effecte der Elektrolyse hervorzubringen, sich nicht verwirklichen lasse. Vielleicht, daſs die obigen gasförmigen Producte der Elektrolyse secundär sind und das Wasser der einzige Elektrolyt in diesen Fällen ist; allein in dieser, wie in so mancher anderen theoretischen Frage giebt es so viele Gründe pro und contra, daſs es nicht der Mühe lohnt bei ihnen zu verweilen, sobald nicht gezeigt oder wahrscheinlich gemacht werden kann, daſs sie zu neuen Thatsachen oder Beziehungen führen.

Auf die obigen Versuche zurückblickend scheint es, daſs *Chlor* und *Sauerstoff* einerseits, und *Wasserstoff*

Digitized by Google

und *Kohlenoxyd* andrerseits die einzigen Gase sind, welche entschieden eine elektrosynthetische Verbindung eingehen, um einen Volta'schen Strom hervorzubringen [1]). Vielleicht könnte ich das *ölbildende Gas* ausnehmen, welches einen anhaltenden, obwohl ungemein schwachen Strom zu veranlassen scheint; auch würden die Dämpfe von *Brom* und *Jod*, wären sie weniger löslich, wahrscheinlich als elektronegative Gase wirken.

Da mehre der Gase, z. B. Stickgas, absolut wirkungslos in der Gasbatterie sind, so dachte ich nun, daſs diese ein werthvolles Instrument zur Analyse der atmosphärischen Luft und anderer gemischten Gase abgeben könnte.

Versuch 24. — Zwei enge, sieben Zoll lange Röhren (*cubic inch tubes*), die sorgfältig in 100 Theile getheilt waren, wurden in getrennte Gefäſse mit verdünnter Schwefelsäure getaucht und genau bis zur letzten Abtheilung mit atmosphärischer Luft gefüllt. Der Wasserspiegel in den Röhren ward genau dem äuſsern gleich gemacht, und mehrfach zusammengeschlagenes Papier angewandt, um die Wärme der Hand abzuhalten, und somit eine Ausdehnung zu vermeiden. Barometer und Thermometer wurden beobachtet, auch jede Vorsicht zur genauen Messung getroffen. Eine dieser Röhren wurde leer gelassen, um den Effect der Lösung zu ermitteln und von dem Resultat abzuziehen. In die andere wurde ein platinirter Platinstreif von Viertelzoll Breite geschoben. Dieser Streif war durch einen Platindraht verbunden mit einem anderen Streifen, der sich in einer zweiten in dasselbe Gefäſs gestellten Wasserstoff-Röhre befand. Der Apparat ist in Taf. III, Fig. 14, abgebildet. Nachdem die Kette zwei Tage lang geschlossen gehalten, war die Flüssigkeit in der Röhre *a* zweiundzwanzig Theile von 100 gestiegen, in der danebenstehenden Röhre nur einen Theil. Man lieſs die Röhren noch einige Tage stehen, aber es zeigte

1) Siehe die Nachschrift.

Digitized by Google

sich keine fernere Veränderung. Diese Analyse giebt daher einundzwanzig Theile Sauerstoff in 100 Thl. Luft.

Versuch 25. — Die Röhre *a* (Fig. 14) ward bis zu einem bestimmten Strich mit Stickstoff gefüllt und 0,5 Kubikzoll reinen Wasserstoffs hinzugefügt, dann die Röhre *h* mit Sauerstoff geladen und die Kette geschlossen. Nach 24 Stunden war das Wasser in der Röhre *a* genau um 0,5 Kubikzoll gestiegen. In diesem Zustand ward der Apparat mehre Tage gelassen, doch ohne fernere Veränderung. Die Volta'sche Action hatte demnach den Wasserstoff vollständig verzehrt, und dann aufgehört.

Diese Versuche sind hinreichend die genaue eudiometrische Wirkung der Gasbatterie darzuthun. In einem gröſseren Maaſsstabe ausgeführt, scheint sie mir einige Vorzüge zu besitzen. Wenn man im Volta'schen Eudiometer sauerstoffhaltige Gase zu analysiren hat und der zur Verpuffung hinzugefügte Wasserstoff ist unrein, so wird das Resultat natürlich fehlerhaft. Dasselbe gilt von der Verpuffung mittelst Platinschwamm oder eines durch den Volta'schen Strom erhitzten Drahts, den ich früher vorschlug [1]).

Sind andrerseits wasserstoffhaltige Gase zu untersuchen, so können aus Unreinigkeiten des hinzugefügten Sauerstoffs oder aus Ungenauigkeiten beim Messen eines der Gase Fehler entstehen. Bei der elektrolytischen Methode der Eudiometrie ist dagegen in dem einen Fall die Menge und Reinheit des Wasserstoffs, und in dem andern Fall die des Sauerstoffs von keinem Belang, vorausgesetzt nur, daſs sie in hinreichender Menge da seyen, um aus dem dem Versuch unterworfenen Gasgemisch das Aequivalent auszuziehen.

Ich muſs bemerken, daſs zu diesen Versuchen nur ein einziges Paar der Gasbatterie gebraucht werden kann; gebrauchte man mehre, so würde wahrscheinlich der Elektrolyt zersetzt und Gas zu der Verbindung hinzugefügt [2]). Der Proceſs ist etwas langsam, aber ich glaube sicher.

1) *Phil. Mag.* August 1841, *p.* 99.

2) Siehe die Nachschrift.

Digitized by Google

Eine andere werthvolle Anwendung dieses Processes besteht darin, daſs er (in Versuch 24) eine einfache Methode liefert, *Stickstoff* von unzweifelhafter Reinheit zu erhalten. Ich kenne keine Methode, welche hierin so vollkommen wäre. Aller Sauerstoff der Luft, so gut wie aller etwa in der Flüssigkeit frei enthaltene, wird fortgenommen; und wenn man darauf etwas Kalkwasser in die Röhre *a* bringt, kann die unbedeutende Menge von Kohlensäure entfernt werden; auch kann man dasselbe auf einmal bewirken, wenn man Aetzkali als Elektrolyt im Apparat Fig. 14 anwendet.

Wahrscheinlich werden andere Physiker noch mehre Anwendungen der Gasbatterie auffinden, mannigfache Veränderungen mit den anzuwendenden Gasen vornehmen und somit lehrreiche und werthvolle Resultate erhalten. Ich habe in diesem Aufsatz das Feld durch eine hinreichende Anzahl von Versuchen eröffnet; jeder derselben scheint auf neue zu führen, so daſs es schwer hält zu sagen, wo das Ende sey.

Die eudiometrischen Versuche, deren ich zuletzt erwähnte, veranlaſsten mich Dr. Henry's Versuche über die Analyse der Gase nachzulesen [1]), und ich wurde dabei überrascht von der Coïncidenz zwischen der Wirkung des Platinschwamms auf Gasgemenge und der der Gasbatterie, eine Coïncidenz, welche die Ansichten, die mich zur Erfindung dieser Batterie führten, sehr bestätigten. Ich will diese hier kurz anführen, nicht weil ich sie für absolut richtig halte, denn hierüber wie über so manchen anderen wissenschaftlichen Gegenstand mögen Meinungsverschiedenheiten herrschen, sondern weil ich sie vor meinen Versuchen hegte, und weil sie bedeutend und unerwartet durch die in dem erwähnten Aufsatz des Dr. Henry beschriebenen Thatsachen verstärkt werden.

Meine anfängliche Vorstellung läſst sich durch folgendes Beispiel erläutern. Wenn reines oder amalgamir-

1) *Philosoph. Transact. f.* 1824.

Digitized by Google

tes Zink in gesäuertes Wasser getaucht wird, so verbindet sich bekanntlich der Sauerstoff nicht mit dem Zink; berührt man aber zugleich Zink und Flüssigkeit mit Platin, so erfolgt die Verbindung, wobei das Platin unverändert bleibt. So verhält es sich mit einem Gemeng von Sauerstoff und Wasserstoff; die Gase, obwohl in innigem Contact, verbinden sich nicht chemisch mit einander, allein berührt man sie mit sauberem Platin, so erfolgt mehr oder weniger rasch die Verbindung; auch hier bleibt das Platin unverändert. Lassen wir jede rein hypothetische Erklärung bei Seite: warum sollten Wirkungen von solcher Aehnlichkeit in ihrem Charakter nicht auch in anderer Beziehung verwandt seyn? Bei der Volta'schen Verbindung erhitzt sich das Platin während der Action, und wenn die Oberfläche und folglich die Quantität der elektro-chemischen Action bedeutend ist, kommt es zum Glühen; so bei der katalytischen Verbindung; ist das Platin dünn und von groſser Fläche oder im schwammigen Zustand, welcher die Oberfläche noch mehr vergröſsert, so kommt es in's Glühen. Warum sollten wir also nicht die Detonation der Gase durch Platin als einen Volta'schen Effect, oder die Verbindung des Zinks mit Sauerstoff bei Gegenwart von Platin als einen katalytischen Effect betrachten können? Die einzige Verschiedenheit besteht darin, daſs die Gase nicht das Wechselverhältniſs von Theilchen darbieten, welches wir Elektrolyse nennen. Die Nothwendigkeit dieses Austausches ist jedoch gehoben, wenn die Gase sich in einem Zustand von so inniger Vermischung befinden, daſs die Fortführung der Action durch eine Kette von Theilchen nicht mehr erforderlich ist; in der Gasbatterie wird diese Kette von dem eingeschalteten Elektrolyten geliefert, und so circulirt in dieser Batterie dieselbe Wirkung, welche in Döbereiner's Versuch local ist; jene steht zu diesem in derselben Beziehung wie die Wirkung der gewöhnlichen Volta'schen Batterie zu den normalen Erscheinun-

gen der chemischen Verwandtschaft. Die Beziehung wird bestätigt durch die im Aufsatz des Dr. Henry angegebenen Thatsachen, da die Gase, welche sich, nach ihm, durch Gegenwart des Platin mit einander verbinden, genau diejenigen sind, welche es in der Gasbatterie thun. So vereinigen sich Sauerstoff und Wasserstoff rasch, Sauerstoff und Kohlenoxyd viel langsamer, und Sauerstoff und ölbildendes Gas sehr schwach, so sehr, daſs sie in Henry's Versuchen Wärme zum Eingehen der Verbindung erforderten. Chlor und Wasserstoff, die sich ohne Platin mit einander vereinigen, thun es um so mehr mit Hülfe desselben; in der Gasbatterie können sie eine secundäre Wirkung veranlassen, indem der vom Chlor durch Zersetzung des Wassers entwickelte Sauerstoff sich mit dem freien Wasserstoff in der Röhre verbindet. Da Sauerstoff und Ammoniak bei schwach erhöhter Temperatur sich durch Einfluſs des Platins mit einander verbinden, unter Bildung von Wasser und Zurücklassung von Stickgas, so stellte ich den folgenden Versuch an.

Versuch 26. — Zehn Zellen der Gasbatterie wurden geladen mit *Sauerstoff* und *Ammoniakflüssigkeit*, der zur Erhöhung der Leitungsfähigkeit etwas schwefelsaures Ammoniak zugefügt worden war. Die Combination wirkte mäſsig, aber anhaltend auf Jodkalium. In den Sauerstoff-Röhren stieg die Flüssigkeit langsam, aber gleichförmig, und in den anderen Röhren entwickelte sich ein Gas, welches sich als reines Stickgas ergab. Nach dreiwöchentlicher Schlieſsung wurden die Gase gemessen und durchschnittlich in jeder Röhre gefunden:

Stickstoff entwickelt . . .	= 0,07 Kbz.
Sauerstoff verschluckt . .	= 0,12 -

Versuch 27. — Um zu sehen ob die Alkalität des Ammoniaks etwas mit der Wirkung zu thun habe, wurden zehn Zellen mit *Sauerstoff* und *Aetzkalilösung* geladen, allein es erfolgte keine Wirkung.

Diese Versuche scheinen mir, was die Beziehung

zwischen der Wirkung der Gasbatterie und der Katalyse des Platinschwamms betrifft, eine entscheidende Bestätigung zu liefern. Versuch 26 ist auch merkwürdig in Bezug auf die binäre Theorie der Elektrolyse, doch will ich auf diesen Punkt hier nicht weiter eingehen.

Will man die Grotthus'sche Theorie auf die Gasbatterie übertragen, so kann man annehmen, es werde, wenn die Batterie geschlossen ist, in der Sauerstoff-Röhre an jedem Punkt, wo sich Sauerstoff, Wasser und Platin berühren, ein Wasserstofftheilchen das mit ihm verbundene Sauerstofftheilchen verlassen, um sich mit einem Theilchen des freien Gases zu vereinigen; der dadurch ausgeschiedene Sauerstoff werde sich mit dem Wasserstoff des anliegenden Wassertheilchen verbinden, und so fort, bis das letzte Sauerstofftheilchen sich mit einem Theilchen des freien Wasserstoffs vereinigt; oder wir können umgekehrt annehmen, daſs der Vorgang in der Wasserstoff-Röhre beginne. In allen diesen Fällen müssen wir jedoch bedenken, daſs wir einen schrittweisen Vorgang annehmen, den die Natur, so weit sie bisher durch Versuche erforscht ist, nicht kennt. Alles was wir von den Actionen an der Anode und Kathode behaupten können, besteht darin, daſs es Correlationen sind; obwohl sie in Distanz geschehen, so findet die eine erwiesenermaſsen nicht mehr ohne die andere oder früher als die andere statt, als erwiesenermaſsen Höhe nicht ohne Tiefe existirt. Ich erwähne daher jener Hypothese nicht, als wenn ich ihr buchstäblich anhinge, sondern weil sie die allgemein angenommene ist, und sie die Wirkung der Gasbatterie mit den gewöhnlichen Erscheinungen der Elektrolyse zu verknüpfen scheint.

Zur Erklärung dieser und anderer geheimniſsvoller Erscheinungsbeziehungen sind manche Hypothesen aufgestellt, die alle darin übereinkommen, das Unbekannte (*unfamiliar*) dem Bekannten (*familiar*) anzureihen. Als didactische Erläuterungen sind sie unzweifelhaft von Nutzen,

Digitized by Google

und haben so bisher zu den Fortschritten der Wissenschaft beigetragen. Es ist jedoch ein sonderbarer und denkwürdiger Umstand, daſs die Grotthus'sche Theorie des Voltaismus, die Emissions- und Undulationstheorie des Lichts und der Wärme, so wie meines Wissens alle bisher aufgestellten physikalischen Theorien die natürlichen Agentien als Effecte von *Bewegung* und *Materie* darstellen. Diese scheinen in Bezug auf Naturerscheinungen die deutlichsten, wenn nicht die einzigen Conceptionen des Verstandes zu seyn, und wenn wir versuchen, Zustände der Materie, die nicht offenbar Bewegungsweisen sind, zu begreifen oder zu erklären, so führen wir sie hypothetisch oder theoretisch auf diese zurück. Die Sinne *empfinden* die verschiedenen Wirkungen des Schalls, des Lichts, der Wärme, der Elektricität u. s. w., allein der Verstand scheint sie nur als verschiedene Bewegungsarten deutlich begreifen zu können. Läſst dieſs nicht folgern, daſs alle physische Agentien auf diese Begriffe (*elements of mental conception*) zurückführbar seyen? — Oder haben wir neue Geisteskräfte zu erwarten, wird anders gesagt Vertrautheit mit annoch verborgenen Erscheinungen unsern Geist befähigen, sie klarer zu begreifen, und die Nothwendigkeit vermeiden, sie theoretisch auf bekanntere und scheinbar einfachere Erscheinungen zu beziehen?

Es giebt noch ein Paar Punkte, in Bezug auf welche die Gasbatterie eine interessante Speculation an die Hand giebt; einer derselben ist die Contacttheorie. Wenn ich dieselbe richtig verstehe, so weiſs ich nicht, wie die Wirkung dieser Batterie mit derselben vereinbar sey. In der That, wenn die Contacttheorie den Contact als Ursache der Volta'schen Action ansieht, aber zugiebt, daſs diese nur durch chemische Action circuliren könne, so sehe ich, auſser dem theoretischen Ausdruck, wenig Unterschied zwischen der Contact- und der chemischen Theorie. Jeder aus der einen hervorgehende Schluſs würde ebenso

Digitized by Google

aus der andern abzuleiten seyn. Es giebt in den Erscheinungen keine beobachtete Zeitfolge, der Contact oder die Schlieſsung der Kette und die elektrolytische Action sind synchron. Wenn dieſs die Ansicht der Contacttheoristen ist, so sind die beiden Theorien bloſse Streite um Worte. Wenn dagegen die Contacttheorie mit dem Worte Contact die Idee einer Kraft verbindet, welche einen Volta'schen Strom unabhängig von chemischer Action zu erzeugen vermag, einer Kraft ohne Consumption, so kann ich sie nur für unvereinbar halten mit der Gesammtheit der Volta'schen Thatsachen [1]).

Ein anderer durch die Gasbatterie angeregter Punkt der Theorie ist die Relation der latenten Wärme in den verschiedenen Zellen der Batterie und dem Voltameter. Nach der herkömmlichen Wärmetheorie können Sauerstoff und Wasserstoff nicht anders aus dem flüssigen Zustand in den gasigen übergehen, als unter Bindung fühlbarer Wärme. Da nun in der Gasbatterie die im Voltameter aus der Flüssigkeit entwickelten Gase genau so viel Wärme absorbiren müssen, als von den Gasen in jeder Zelle beim Flüssigwerden entbunden wird, so kann es ein interessanter Gegenstand künftiger Untersuchungen seyn (Untersuchungen, die durch die Thermosäule werden wesentlich unterstützt werden), zu ermitteln, ob die im Voltameter absorbirte Wärme von umgebenden Körpern oder von der Wirkung der Batterie selbst geliefert werde, d. h. da die chemische Kraft im Voltameter das umgekehrte Aequivalent von der in jeder Zelle der Batterie ist, und eben so die Wärmekraft im Voltameter das umgekehrte Aequivalent von der in jeder Zelle der Batterie, ob zwischen den letzteren Kräften dieselbe gegenseitige Abhängigkeit vorhanden sey, als zwischen den ersteren. Die Wirkung im Voltameter der gewöhnlichen Bat-

1) Ich kann nicht umhin, hier auf die von mir in den Ann. Bd. 58, S. 207 ausgesprochene Bemerkung zu verweisen. *P.*

Digitized by Google

Batterien würden stark gegen die Annahme sprechen, daſs die Wärme von umgebenden Körpern geliefert werde, da bekannt ist, daſs das Wasser bei der Elektrolysirung seine Temperatur eher erhöht als vermindert. Ich habe gefunden, daſs wenn man Wasser durch die Salpetersäure-Batterie zersetzt, im Verhältniſs von 150 Kubikzoll (Knallgas) in der Minute, eine sehr bedeutende Temperaturerhöhung desselben stattfindet, so daſs es, wenn seine Menge nicht sehr bedeutend ist, bis zum Sieden erhitzt wird. Viel der hinzukommenden (*adventitious*) Wärme mag entsprungen seyn aus der Beschränkung des Stroms (*restriction of the circuit*) durch die Voltameterplatten und Verbindungsdrähte; allein wenn angenommen wird, die Gasbatterie liefere genau die hinreichende Wärme oder (wenn man so sagen darf) verwandele Elektricität in hinreichende Wärme, um die Erfordernisse der sich ausdehnenden Gase zu befriedigen, so würde jede Zelle der Batterie, durch die Condensation ihrer respectiven Gase, dieses Erforderniſs zu liefern im Stande seyn, und es würde innerhalb der ganzen Batterie eine Temperaturerhöhung stattfinden, die gleich wäre der Summe der in allen Zellen durch Gascondensation erzeugten Wärme, weniger der in einer Zelle. Bis jetzt bin ich nicht im Stande gewesen eine Temperaturerhöhung bei Wirkung der Gasbatterie zu entdecken, da ich kein Instrument zur Beobachtung so feiner thermoskopischer Effecte besitze. Um so mehr möchte ich Anderen, die über solche Instrumente zu verfügen haben, diesen Punkt zur Betrachtung empfehlen, und hiemit verlasse ich für jetzt die Gasbatterie und deren Theorie.

London Institution, 1843, März 12.

Nachschrift (7. Juli). — **Die Länge der Zeit, welche zwischen der Mittheilung und dem Drucke dieser Abhandlung verstrichen ist, hat mich in den Stand gesetzt,**

den Apparat Fig. 10, Taf. III anzuschaffen, was wohl einen hinreichenden Grund liefert, eine Nachschrift hinzuzufügen, die einige mit demselben angestellte und mir wichtig scheinende Versuche enthält.

Versuch 28. — Um weiter die auf S. 383 ausgesprochene Meinung zu prüfen, wurden sechs Zellen dieser Batterie in den abwechselnden Röhren mit reinem Wasserstoff und verdünnter Säure geladen. Gleich nach der Ladung zersetzten sie Wasser leicht, aber nach kurzer Zeit des Schlusses der Batterie, da der Sauerstoff der atmosphärischen Luft in der Säure erschöpft war, bewirkten sie keinen Volta'schen Effect. Selbst Jodkalium ward von der ganzen Batterie nicht zersetzt; als man indeſs in eine der mit Flüssigkeit gefüllten Röhren etwas Luft treten lieſs, zerlegte diese eine Zelle sogleich das Jodkalium. Drei Zellen wurden geschlossen hingestellt; nach Verlauf von einer Woche brachten sie auf ein Galvanometer keine Wirkung hervor, auch war in den Röhren mit Flüssigkeit kein Gas entwickelt. Nun wurden die Stöpsel abgenommen, und die Flüssigkeit in den Wasserstoffröhren stieg im Durchschnitt 0,3 Kbzll. Jede Zelle enthielt eine Pinte, und wir können daher 0,15 Kubikzoll als den Belauf des in dieser Menge gesäuerten Wassers enthaltenen Sauerstoffs betrachten. Wäre es nicht auſserordentlich schwierig, die atmosphärische Luft auf längere Zeit völlig auszuschlieſsen, so würde das Obige eine treffliche Methode liefern, Wasser auf die darin gelöste Sauerstoffmenge zu prüfen, und nach gehöriger Berechnung könnten wir an unseren Galvanometern die Zahl unendlich kleiner Gasblasen ablesen, die in einem gegebenen Volume Flüssigkeit enthalten sind. Wenn jedoch das saure Wasser oder der Wasserstoff fremde Bestandtheile enthält, würde ein ganz anderes Resultat entstehen, und die Flüssigkeit in den Wasserstoffröhren, aus leicht ersichtlichen Gründen, oft bedeutend steigen.

Versuch 29. — Ich wiederholte den Versuch 24 mit

Digitized by Google

der Batterie Fig. 10, erwartend, dafs, da die äufsere Luft ausgeschlossen war, das Resultat schneller erfolge, doch auch nicht ohne Hoffnung, dafs sich einige Wirkung auf das Stickgas zeigen würde. Als ich am Morgen nach dem Schlusse der Batterie die Stöpsel abzog, stieg die Flüssigkeit in der Luftröhre um ein Fünftel ihres Gasvolums. Ich schlofs nun wieder und untersuchte drei Tage hernach. Es zeigte sich eine sonderbare Erscheinung. Das Gasvolum in der Luftröhre, welches sich zuvor zusammengezogen, hatte sich nun vergröfsert, und vergröfserte sich noch langsam von Tag zu Tag. Ich glaubte anfangs, der Stickstoff wäre zersetzt worden, allein nach manchen Vermuthungen und Versuchen fand ich, dafs die Vergröfserung durch Zutritt von Wasserstoff entstanden war, eine Thatsache, die aufserordentlicher ist, als es die Zerlegung des Stickstoffs gewesen seyn würde. Bei Wiederholung des Versuchs mit Stickgas statt der Luft erfolgte dasselbe, aber natürlich ohne vorherige Zusammenziehung. Ich wandte mich nun wieder zu der Batterie Fig. 6; mehre ihrer Zellen theils mit atmosphärischer Luft und Wasserstoff, theils mit Stickstoff und Wasserstoff geladen, zeigten die Erscheinung nicht, obwohl sie sechs Wochen geschlossen stehen blieben.

Um zu ermitteln, ob das Vacuum, welches durch Fortnahme des Sauerstoffs aus dem Wasser entstanden war, etwas mit der obigen Erscheinung zu thun habe, wurde statt des Stöpsels in der Batterie Fig. 10 eine enge, an beiden Enden offene Röhre in die mittlere Oeffnung gesteckt. Ohne eine mühsame Reihe von Versuchen zu beschreiben, will ich nur sagen, dafs ich zuletzt zwei Dinge als wesentlich fand, um die Erscheinung mit Sicherheit zu erhalten, nämlich 1) die Ausschliefsung einer irgend beträchtlichen Menge atmosphärischer Luft aus der Lösung, und 2) grofse Reinheit des Wasserstoffs. Im ersteren Fall, da der Wasserstoff Sauerstoff finden kann, mit welchem er sich verbindet, wird er nicht entwickelt;

Digitized by Google

im letzteren werden die Gase an beiden Seiten gemischt oder vielmehr verdünnt, und somit die Kräfte aufgewogen. So ist es mir bei der offenen Batterie Fig. 6 niemals gelungen, die Erscheinung mit dem auf gewöhnliche Weise mittelst gekörnten Zink oder Eisenfeilicht entwickelten Wasserstoff zu erhalten, wohl aber zuweilen mit dem elektrolytisch dargestellten. Bei der Batterie Fig. 10 gelang mir die Erscheinung, jedoch in schwachem Grade, mit dem auf gewöhnliche Weise dargestellten Wasserstoff; dagegen schlug sie mit dem elektrolytischen Wasserstoff niemals fehl. Sauerstoff von der gröſsten Reinheit, voltaisch mit Stickstoff verknüpft, gab keine ähnliche Wirkung. Die vorstehenden Erfahrungen machen es nöthig, wenn der eudiometrische Versuch 24 genau seyn soll, entweder in den Batterien Fig. 6 und 14 eigens gemeinen Wasserstoff anzuwenden, oder, was förderlicher und genauer ist, eine Batterie wie Fig. 10 zu gebrauchen, jedoch in Verhältniſs zu ihrer Weite mit längeren Röhren, dann die Röhren mit Wasserstoff und atmosphärischer Luft zu füllen und zur Kette geschlossen so lange stehen zu lassen, bis durch die elektrolytische Wirkung aller Sauerstoff absorbirt und zu dem rückständigen Stickstoff etwas Wasserstoff hinzugetreten ist, endlich Sauerstoff statt des ursprünglichen Wasserstoffs zu nehmen, welcher umgekehrt den Wasserstoff vom Stickstoff fortnimmt und letzteren rein zurückläſst. Ich habe dieſs oft mit Erfolg ausgeführt.

Versuch 30. — *Wasserstoff* und *Kohlensäure* bringen in der Batterie Fig. 10 dieselbe Wirkung hervor. Die Kohlensäure vergröſsert ihr Volum und nimmt Wasserstoff auf. Die Erscheinung ist daher keine Eigenthümlichkeit des Stickstoffs, doch ist ein Gas nothwendig, denn der Versuch 28 beweist, daſs Wasserstoff allein das Wasser nicht zersetzt. Ich brauche wohl nicht zu sagen, daſs wenn die oben erwähnte Wirkung stattfand, ein eingeschaltetes Galvanometer abgelenkt ward; aber der Strom war zu schwach, um Jodkalium zu zersetzen.

Digitized by Google

Ich habe in der Batterie Fig. 10 versucht, *Wasserstoff* zu verknüpfen mit *Kohlenoxyd*, *ölbildendem Gas*, *Stickstoffoxydul* und *Stickstoffoxyd*. Die beiden ersten gaben keinen Strom oder chemischen Effect; die beiden letzten gaben einen Strom und wurden zersetzt. Das Volum des Stickstoffoxyds wurde auf die Hälfte reducirt, und diese, welche sich als Stickgas ergab, wurde von nun an durch Wasserstoff vermehrt. Das Stickstoffoxydul erlitt vorher keine Verringerung, aufser einer schwachen durch Löslichkeit, allein seine Zustandsveränderung zeigte sich durch die Absorption des Wasserstoffs in der damit verknüpften Röhre.

Ich versuchte auch, welche Wirkung ein *Vacuum* und *Wasserstoff* haben würde, indem ich eine Batterie (Fig. 10) mit 1 Kubikzoll Sauerstoff und 3 Kubikzoll Wasserstoff lud. Der Strom ward sehr geschwächt durch den Widerstand, welchen das Vacuum darbot. Anfangs wurde Jodkalium zersetzt und die Galvanometernadel im Kreise herumgeführt, nach 24 Stunden wich aber die Galvanometernadel nur 10° ab; so widersetzte sich der chemischen Kraft eine physische. Der Strom fuhr indefs fort und alles Gas in der Sauerstoffröhre verschwand bis auf eine kleine Blase. Diefs war wahrscheinlich Stickstoff aus in der Lösung enthaltener atmosphärischer Luft, welche entwichen war, um das Vacuum zu füllen. Als der Stöpsel abgezogen wurde, stieg die Flüssigkeit in der Wasserstoffröhre plötzlich um 2,2 Kubikzoll, damit das Aequivalent des Sauerstoffs in der Röhre und der Lösung gebend. Sehr möglich giebt dieser Versuch bei Wiederholung eine Entwicklung von Wasserstoff in der Sauerstoffröhre, in Folge des Entweichens von Stickgas aus der atmosphärischen Luft in der Lösung und wie in Versuch 29 wirkend, doch habe ich diese Erscheinung nicht beobachtet. Ich mufs eigends bemerken, dafs bei allen in dieser Nachschrift erwähnten Versuchen, mit Ausnahme des ersten Theils von Versuch 28, einfache Ketten gebraucht wurden.

Digitized by Google

Ueber die Theorie der Versuche 29 und 30 wage ich keine bestimmte Meinung auszusprechen. Daſs *Sauerstoff* durch *gasförmigen Wasserstoff von Wasserstoff* fortgenommen wird, ohne daſs der letztere eine andere Verbindung bildet, ist eine so neue Thatsache, daſs jede versuchte Erklärung wahrscheinlich voreilig befunden wird. Wenn wir, entgegen den Ansichten Dalton's, annehmen, daſs Gase, gemischt, durch eine schwache chemische Verwandtschaft zusammengehalten werden, so können wir sagen, daſs die Verwandtschaft des Stickstoffs oder der Kohlensäure zum Wasserstoff die Wirkung hervorbrachte. Die Verwandtschaft des Sauerstoffs vom Wasser, balancirt zwischen dem Wasserstoff in der Flüssigkeit und dem in der Röhre, würde der resultirenden schwachen Verwandtschaft des Stickstoffs zum Wasserstoff das Uebergewicht geben; allein, warum giebt, in dieser Voraussetzung, Sauerstoff nicht einen analogen Effect? Seine Tendenz, sich direct mit dem Platin zu verbinden, kann zwar als eine widerstrebende Kraft betrachtet werden, allein diese Tendenz wird von Manchen für hypothetisch gehalten. Andrerseits kann es ein Contact-Effect genannt werden, allein dieses Wort, unverbunden mit einer chemischen Theorie, giebt keine andere Vorstellung als die Thatsache selbst, und liefert kein Glied, wodurch wir die Erscheinungen erweitern können. Bis eine bessere Theorie gefunden seyn wird, bin ich daher geneigt, die erstere Ansicht anzunehmen, und gemischte Gase als im Zustande einer schwachen chemischen Verbindung befindlich zu betrachten, um so mehr als wir in der ganzen Natur keine scharfen Gränzlinien finden, obgleich wir aus conventionellen Gründen genöthigt sind, solche anzunehmen. Es muſs viele Fälle geben, in denen es zweifelhaft, wo nicht unmöglich ist, eine Linie zu ziehen zwischen mechanischer Mischung und chemischer Verbindung.

Schlieſslich muſs ich in Betreff der Gesammtheit der in diesem Aufsatz enthaltenen Versuche sagen, daſs eine

Digitized by Google

längere Zeit und gröſsere Erfahrung positive Resultate geben werden, in Fällen, wo ich nur negative erhalten habe. Seit durch langsame elektrische Ströme so sonderbare starre Verbindungen erhalten worden sind, wie in den Versuchen von Crosse und Becquerel, ist es gar nicht unmöglich, daſs durch lange fortgesetzte Volta'sche Action von Gasen und Flüssigkeiten neue gasige und flüssige Producte gebildet werden.

Hinsichtlich früherer Versuche und Theorien über die Verbindung der Gase mit Platin verweise ich auf Döbereiner's Aufsatz (*Phil. Mag.* Oct. 1823), in welchem ich die Meinung ausgesprochen finde, daſs sie ein Volta'scher Vorgang sey, auf Dulong und Thenard's Aufsätze in den *Ann. de chim.* Bd. 23 und 24, auf Faraday's Experimental-Untersuchungen, Reihe 6, und auf die Versuche über polarisirte Elektroden von Ritter, Faraday, De la Rive, Becquerel, Matteucci und Schönbein.

II. *Ueber die Volta'sche Gasbatterie. Volta'sche Wirkung von Phosphor, Schwefel und Kohlenwasserstoffen; von W. R. Grove.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Philosoph. Transact. f.* 1845, *pt. II.*)

In einem Aufsatz, welcher mit der Veröffentlichung in den *Philosoph. Transact.* für 1843 beehrt wurde, beschrieb ich verschiedene Formen der Volta'schen Gasbatterie, nebst einer Reihe von Versuchen, in welchen mehre Gase zu Volta'schen Combinationen benutzt wurden, unter anderem auch zur Anwendung des Voltaismus auf Eudiometrie.

Um der Genauigkeit der eudiometrischen Versuche Vertrauen zu erwecken, war es nöthig, daſs die von mir

behauptete Abwesenheit aller Volta'schen Action bei einer Combination von Sauerstoff und Stickstoff strenge richtig sey. Ich kann mit Sicherheit behaupten, daſs dem so ist, allein im Versuch 21 meines letzten Aufsatzes wurde während der ersten fünf Minuten und zuweilen auf längere Zeit eine scheinbare Ausnahme beobachtet. Die Untersuchung dieser temporären Wirkung führte mich zu Resultaten, welche ich die Ehre habe der K. Gesellschaft in diesem Aufsatz vorzulegen.

Ehe ich die Resultate auseinandersetze, will ich bemerken, daſs sie alle mit der Batterie Fig. 10 meines letzten Aufsatzes (die mit geringem Zusatz auch in Fig. 16 abgebildet ist), geladen mit destillirtem schwach durch reine Schwefelsäure angesäuertem Wasser, angestellt wurden. Ich will auch, bei Bezugnahme auf meinen letzten Aufsatz, um die unnöthige Wiederholung des Wortes *Versuch* zu vermeiden, auf die Nummern der Versuche verweisen, wie wenn es Paragraphen wären, und werde jene Nummern in diesem Aufsatze fortsetzen.

Da ich auf die Batterie Fig. 16, durch welche die störende Wirkung der Atmosphäre gänzlich abgehalten wird, nicht eher verfiel, als bis der gröſsere Theil der Versuche in meinem letzten Aufsatze beendet war, so wiederholte ich einige derselben, welche eine Bestätigung mit dieser Batterie zu erfordern schienen. Nur einer von ihnen muſs nothwendig hier angeführt werden. Ich muſs auch erwähnen, daſs in den zu beschreibenden Versuchen die Reductionen wegen Temperatur und Druck gemacht wurden, wenn es nöthig war. Wenn es sich thun lieſs, wurden die Resultate an Tagen untersucht, an denen Druck und Temperatur möglichst nahe dieselben waren, als an welchen die Versuche begonnen wurden.

(31) *Sauerstoff* und *Stickstoffoxyd*, welche in der offenen Batterie nur eine temporäre Wirkung gaben (9), lieferten in der verschlossenen (Fig. 16) einen continuirlichen Strom. Jeder der folgenden drei Versuche wurde

Digitized by Google

einen Monat lang in der verschlossenen Batterie angestellt, und während deſs beständig durch das Galvanometer die Gegenwart einer Volta'schen Action nachgewiesen. Nach Ablauf des Monats waren die Resultate folgende:

Steigen der Flüssigkeit in den Röhren mit:

Vers. 1. —	Sauerstoff	0,32	Kubikzoll.
	Stickstoffoxyd	1,26	-
Vers. 2. —	Sauerstoff	0,5	-
	Stickstoffoxyd	2,5	-
Vers. 3. —	Sauerstoff	0,2	-
	Stickstoffoxyd	0,75	-
Mittel —	Sauerstoff	0,34	-
	Stickstoffoxyd	1,5	-

Da der geringe Ueberschuſs unzweifelhaft von der gröſseren Löslichkeit des Stickstoffoxyds herrührt, so scheint es, daſs 4 Volume dieses Gases gegen 1 Volum des mit ihm verknüpften Sauerstoffs in der Gasbatterie absorbirt werden. Das Resultat wäre eine Verbindung von 1 Aeq. Stickstoff + 3 Aeq. Sauerstoff oder salpetrige Säure, welche auch auf gewöhnlichem chemischen Wege durch die langsame Verbindung dieser beiden Gase gebildet wird. Der Unterschied in dem Betrag der Wirkung bei den drei Versuchen hängt von der Temperatur ab, indem der zweite Versuch gegen Ende des verflossenen Sommers, der letzte aber während des anhaltend kalten Wetters im jetzigen Frühjahr angestellt wurde.

Diese Versuche, verglichen mit den umgekehrten mit *Wasserstoff* und *Stickstoffoxyd* (30), erläutern in genügender Weise das Gesetz der bestimmten Verbindung nach Volumen in der Gasbatterie, und erweisen zugleich die Wirkung der aequivalenten chemischen Combination, der Katalyse und des Voltaismus.

(32) Ich schreite nun zu den Versuchen, welche näher Gegenstand dieses Aufsatzes sind. Da die erwähnte temporäre Wirkung beim Stickstoff und Sauerstoff (21)

Digitized by Google

gröſser ist, wenn das Stickgas durch Verbrennung von Phosphor in atmosphärischer Luft erhalten, als auf andere Weise dargestellt worden, so dachte ich natürlich, daſs diese Wirkung von dampfförmig im Stickgas zurückgebliebener phosphoriger Säure, oder von einer geringen, nach der Vorstellung von Vauquelin und älteren Experimentatoren, im Stickgas gelösten Menge Phosphor herrühre. Wäre die letztere Voraussetzung richtig, so würde sich ein Mittel darbieten, den Phosphor, ungeachtet er nicht leitend und in wäſsrigen Flüssigkeiten unlöslich ist, zu einem den oxydirbaren Metallen analogen Volta'schen Erreger zu machen.

(33) Ein kleines Stück sorgfältig getrockneten Phosphors, 9,6 Gran wiegend, wurde durch die Flüssigkeit hin in die weite Röhre einer Gasbatterie gebracht, mittelst eines Kragens (*loop*) von Glimmer, der ihn sowohl vom Glase als vom Platin entfernt hielt. Diese Röhre wurde nun mit reinem Stickgas geladen, und die andere Röhre mit reinem Sauerstoff. Der Wasserspiegel wurde durch einen auf die Röhren geklebten Papierstreifen bezeichnet. Zugleich wurde ein Gegenversuch mit Sauerstoff und Stickstoff ohne Phosphor angestellt. Das Ganze wurde dann sorgfältig vor atmosphärischer Luft geschützt, und 24 Stunden in geschlossener Kette stehen gelassen. Am nächsten Tage durch ein Galvanometer und durch Jodkalium geprüft, zeigte die Phosphor-Batterie eine sehr entschiedene Wirkung. Das Jodid ward zersetzt, und die Galvanometernadel oscillirte um 30°; der Stickstoff mit dem Phosphor verhielt sich wie das Zink in einer gewöhnlichen Volta'schen Combination. Der Gegenversuch zeigte nicht die geringste Ablenkung oder Zersetzung. Der Apparat blieb vier Monate, vom 10. August bis zum 14. December 1844, geschlossen stehen, und, währenddeſs häufig mit einem Galvanometer geprüft, zeigte er sich immer in Wirkung. Am 14. Dec., als der Wasserspiegel in der Sauerstoffröhre zeigte, daſs ein Kubikzoll Sauerstoff ab-

Digitized by Google

sorbirt war, plus der geringen Menge von 0,05 Kubikzoll, welche, wie sich aus dem Vergleich mit der zweiten Batterie ergab, vom gelösten Sauerstoff herrührte, wurden die Resultate untersucht; sie waren folgende:

Steigen der Flüssigkeit: in der Sauerstoffröhre 1 Kubikzoll, in der Stickstoffröhre Null. Gewicht des Phosphors ursprünglich 9,6, jetzt 9,2 Gran.

Die Batterie wurde am 19. Dec. 1844 wiederum in ähnlicher Weise geladen, und bis zum 17. Mai 1845 stehen gelassen, während welcher Zeit fast ohne Unterbrechung ein äuſserst kaltes Wetter herrschte. Jetzt untersucht, waren die Resultate folgende:

Bleibende Ablenkung im Galvanometer 8°. Steigen der Flüssigkeit: in der Sauerstoffröhre 0,35 Kubikzoll, in der Stickstoffröhre Null. Gewicht des Phosphors: anfänglich 2,8, jetzt 2,65 Gran.

Nimmt man das Mittel aus beiden Versuchen, die einander in ihren relativen Resultaten näher kommen, als ich unter diesen Umständen erwarten konnte, so haben wir 0,415 Gran Phosphorverlust gegen einen Kubikzoll Sauerstoff. Nun ist aber 24 : 31,4 :: 0,34 : 0,444. Das Resultat dieser Versuche läſst also keinen Zweifel, daſs das Product der Volta'schen Action phosphorige Säure ist, wie bei der langsamen Verbrennung des Phosphors in der Luft. Der Versuch wurde mit destillirtem Wasser wiederholt; die Wirkung war anfangs sehr unbedeutend, wuchs aber mit jedem Tage, und allmälig erlangte das Wasser eine saure Reaction.

Bei Untersuchung des Apparats im Dunkeln, zeigte sich kein Leuchten, auch war die Wirkung zu schwach, um ein solches wahrscheinlich zu machen. Wenn indeſs Wärme oder ein anderes Mittel, wie ich hoffe, ein Leuchten hervorbringen wird, so fragt es sich, in welchem Theil der Kette dasselbe stattfinden werde.

Eine Reihe von zehn Zellen, geladen durch Stickstoff, worin Phosphor, und Sauerstoff, zerlegten das Wasser zwischen Platinelektroden wahrnehmbar.

Digitized by Google

Das Resultat der obigen Versuche liefert, glaube ich, das erste Beispiel der Anwendung eines starren, unlöslichen Nichtleiters als Erreger eines continuirlichen Volta'schen Stroms. Es beweist, daſs das von ältern Experimentatoren angenommene Daseyn von diffusem Phosphor im Stickgas nicht hervorgeht, wie geglaubt ward, aus einer partiellen Verbrennung, sondern aus einer Effusion, die so lange dauert als der zuvor diffundirte Phosphor fortgenommen wird; es liefert den sehr sonderbaren Fall einer wahren Verbrennung, bei welcher der Verbrenner (*comburant*) und das Verbrennende sich in Distanz befinden, da der Phosphor durch Sauerstoff verbrannt wird, der von ihm durch eine Schicht Wasser und Gas von unbestimmter Länge getrennt ist. Dieſs, durch eine fortlaufende Reihe von Inductionen erhaltene Resultat kann jetzt schwerlich auſserordentlich erscheinen, würde aber, aller Wahrscheinlichkeit nach, vor einigen Jahren als neue Thatsache angegeben, nur mit Ungläubigkeit aufgenommen worden seyn. Durch das Galvanometer können wir auch den Gang dieser sehr langsamen kleinen chemischen Action ermitteln. Wenn z. B. bei einem Apparate wie der obige mein Galvanometer eine Ablenkung von 8 Graden anzeigt, so weiſs ich, daſs durchschnittlich ein Siebenmilliontel Gran Phosphor in der Minute verzehrt worden ist.

(34) Zunächst war nun zu ermitteln, ob diese Action dem Stickstoff eigen sey oder auch anderen Gasen zukomme. Zu dem Ende wurden einige Tage nach dem ersten Versuch die folgenden angestellt.

Am 11. Aug. 1844. No. 1. *Stickstoffoxydul*, worin 5,3 Gran *Phosphor* aufgehängt worden, wurde mit *Sauerstoff* verknüpft. No. 2, eben so, jedoch ohne Phosphor.

Zuweilen mit dem Galvanometer geprüft, gab die erste Kette beständig eine kleine Ablenkung, doch eine geringere als im Versuch (33); die zweite Kette gab keine Ablenkung.

Digitized by Google

Untersucht am 22. Apr. 1845 zeigte sich das Wasser gestiegen: in No. 1 beim Sauerstoff 0,75 Kubikzoll, beim Stickstoffoxydul 1,7 Kubikzoll; — in No. 2 beim Sauerstoff 0,1 Kubikzoll, beim Stickstoffoxydul 1,6 Kubikzoll. — Der Phosphor wog 5 Gran, hatte demnach 0,3 Gran verloren.

Bei diesem Versuch rührte das Steigen der Flüssigkeit in den Röhren mit Stickstoffoxydul offenbar von der Löslichkeit dieses Gases her, was sehr nahe gleich war in beiden Batterien, und die zweite gab nicht die geringste galvanometrische Ablenkung. Das Resultat giebt 0,65 Kubikzoll Sauerstoff, verzehrt von 0,3 Gran Phosphor, nahezu dasselbe Verhältniſs wie in Versuch (33). Der einzige Unterschied zwischen den Wirkungen des Phosphors im Stickstoff und Stickstoffoxydul besteht darin, daſs die erstere rascher ist, wie sowohl aus der galvanometrischen Ablenkung als aus der Menge des in gegebener Zeit absorbirten Sauerstoffs hervorgeht.

(35) Geladen am 11. Aug. 1844. No. 1. *Kohlensäure* und darin 5,9 Gran *Phosphor* verknüpft mit *Sauerstoff*. No. 2. Eben so, doch ohne Phosphor. — Mit dem Galvanometer geprüft gab No. 1 immer eine Ablenkung, No. 2 keine.

Am 3. Dec. war in beiden Batterien die Kohlensäure vollständig absorbirt, und die Flüssigkeit bis an das obere Ende der Röhren gestiegen. In den Sauerstoffröhren betrug das Steigen der Flüssigkeit bei No. 1 = 0,75 Kubikzoll, bei No. 2 = 0,05 Kubikzoll.

Der Phosphor wog 5,6, folglich waren 0,3 Gran Phosphor von 0,7 Kubikzoll Sauerstoff verzehrt, genau dasselbe Verhältniſs wie in (33) und (34). Die Intensität der Wirkung war eine intermediäre, geringer als die erstere, und gröſser als die letztere.

(36) Geladen am 18. Dec. 1844. No. 1. Reiner *Sauerstoff* und darin *Phosphor*, verknüpft mit *Sauerstoff*, unter sorgfältigster Ausschlieſsung der atmosphäri-

Digitized by Google

schen Luft. Diese Combination gab nach 24stündiger Schlieſsung nur eine sehr schwache galvanometrische Ablenkung.

Untersucht am 15. Febr. 1845 betrug das Steigen der Flüssigkeit in der den Phosphor enthaltenden Röhre 0,3 Kubikzoll, in der anderen Röhre 0,05 Kubikzoll. Ich finde nicht bemerkt, ob der Phosphor wieder gewägt worden; wahrscheinlich hielt ich es für überflüssig, da der Verbrauch an Sauerstoff in der anderen Röhre so sehr unbedeutend, kaum von dem Effect seiner Lösung zu unterscheiden war.

(37) Geladen am 23. Apr. 1845. No. 1. *Stickstoffoxyd* und darin 4,3 Gran *Phosphor* aufgehängt, verknüpft mit *Sauerstoff*. No. 2 eben so, doch ohne Phosphor.

Untersucht am 27. Mai 1845. No. 1 gab 25° und No. 2 10° galvanometrische Ablenkung. Das Steigen der Flüssigkeit betrug in No. 1 beim Stickstoffoxyd = 0,7 Kubikzoll, beim Sauerstoff = 0,6 Kubikzoll; in No. 2 beim Stickstoffoxyd = 0,7 Kubikzoll, und beim Sauerstoff = 0,2 Kubikzoll. Der Phosphor wog 4,17 Gran, hatte folglich verloren 0,13 Gran gegen 0,4 Kubikzoll Sauerstoff.

Bei diesen und allen vorhergehenden Versuchen waren die rückständigen Gase von unveränderter Beschaffenheit. Bei diesem Versuch scheint die Wirkung des Stickstoffoxyds und des Sauerstoffs gar nicht vom Phosphor geändert worden zu seyn, da der Verbrauch an Stickstoffoxyd in beiden Batterien genau gleich war. Bei einem anderen Versuch, den ich nicht anführe, da eine kleine Luftblase in die das Salpetergas enthaltende Röhre kam, schien der Phosphor auf die Volta'sche Verbindung dieses Gases mit dem Sauerstoff verzögernd eingewirkt zu haben. Ich schreibe dieſs der Ablagerung von etwas phosphoriger Säure auf das Platin zu, wodurch dessen katalytische Kraft geschwächt wurde.

(38) Sonach scheint denn der untersuchte Effect

Digitized by Google

der Diffusion des Phosphors in Gas keine Eigenthümlichkeit des Stickstoffs oder irgend eines anderen besonderen Gases zu seyn, wie sonst geglaubt wurde, sondern sehr wahrscheinlich allen Gasen anzugehören, die keine specifische Wirkung auf den Phosphor ausüben. Sie kann eher eine Verflüchtigung des Phosphors bei gewöhnlicher Temperatur als eine Auflösung desselben in dem Gase genannt werden. Die gewöhnliche langsame Verbrennung des Phosphors in der Luft ist in der That eine Verbrennung seines Dampfes. Ich bin geneigt zu glauben, daſs die Schwäche seiner Verdampfung in reinem Sauerstoff von der Bildung einer schützenden Decke (vermuthlich von Phosphorsäure, — *P.*) herrührt, und daſs die Erscheinung in einiger Hinsicht der Unthätigkeit des Eisens in Salpetersäure analog ist.

(39) *Phosphor* in *Stickgas* wurde mit *Wasserstoffgas* verknüpft, um deren Volta'sches Verhalten zu ermitteln. Der Wasserstoff war positiv gegen Phosphor, d. h. vertrat das Zink einer gewöhnlichen Volta'schen Combination.

(40) Um den sonderbaren und neuen Fall einer aus zwei starren Nichtleitern gebildeten Volta'schen Batterie zu verwirklichen, wurden beide Röhren der Gasbatterie mit *Stickgas* geladen, aber die eine mit *Phosphor*, die andere mit *Jod* versehen. Nach Schlieſsung zeigte sich ein sehr entschiedener Strom, der monatelang anhielt; das Stickgas änderte sein Volum nicht, aber die Flüssigkeit färbte sich allmälig durch einen Ueberschuſs von Joddampf. Der Versuch ergab Folgendes:

	Geladen am 1. Januar 1845.	Untersucht am 17. Mai 1845.
Gewicht des Jods	= 5,9 Gran.	= 4,6 Gran.
Gewicht des Phosphors	= 6,4 -	= 6,28 -

Der Phosphor hatte also 0,12 Gran verloren, das Jod 1,3. Angenommen der Phosphor habe 3 Aeq. Sauerstoff verzehrt, wie in den Versuchen 33, 34, 35 und 37,

Digitized by Google

so müſsten 3 Aeq. Wasserstoff verschwunden und folglich 3 Aeq. Jod verzehrt worden seyn; aber

31,4 : 126,6 : : 0,12 : 0,48 und $0{,}48 \times 3 = 1{,}44$.

Das Resultat stimmt leidlich, allein wegen des von der Flüssigkeit gelösten Joddampſs wäre in dem Verbrauche dieses ein Ueberschuſs und nicht ein Mangel zu erwarten gewesen.

(41) Um jede Zufälligkeit, welche möglicherweise die Volta'sche Wirkung stören könnte, zu verhüten und zu entfernen, war es zu meiner eignen Befriedigung nöthig eine groſse Anzahl anderer Versuche anzustellen, z. B. den Phosphor in einzelne Röhren mit verschiedenen Gasen zu bringen, zwar mit Platinblech, aber ohne verknüpfte Röhren, dann auch wieder ohne Platinblech oder verknüpfte Röhren. Da diese Versuche aber zu keinen Resultaten führten und bloſs zu meiner eignen Befriedigung angestellt wurden, so würde es überflüssig seyn, sie hier auseinanderzusetzen.

(42) Nachdem ich die Wirkung des Phosphors in der Gasbatterie unter verschiedenen Umständen untersucht hatte, war der nächste Schritt nun, zu ermitteln, ob andere Substanzen ähnliche Wirkungen hervorbrächten. *Schwefel,* das nächste Analogon des Phosphors, bot sich natürlich zuerst dar, allein wegen seiner andern Beschaffenheit verlangte es auch eine andere Behandlungsweise. Es wurde folgende angewandt: In ein Glasnäpfchen mit langem soliden Stiel (Fig. 15, Taf. III) wurde ein kleines Stück Schwefel gelegt, das Näpfchen in die weite Mündung der Zelle (Fig. 16) einer Gasbatterie gebracht, und die Röhre vorsichtig darüber gestülpt. Dann wurde das Platin dieser Röhre mit dem Zink einer einzelnen Zelle der Salpetersäure-Batterie verknüpft und durch die mittlere Mündung eine Platinanode in die Flüssigkeit gesteckt. Hiedurch wurde die atmosphärische Luft in der Röhre ihres Sauerstoffs gänzlich beraubt, und darauf das überschüssige Wasserstoff fortgenommen, indem man diese Röh-

Digitized by Google

Röhre mit der zugehörigen, mit Sauerstoff geladenen Röhre verband; dasselbe hätte sich langsamer durch den in (29) beschriebenen Proceſs bewerkstelligen lassen. Der Schwefel befand sich nun in einer Atmosphäre von reinem Stickgas, und dieſs konnte meines Wissens auf keinem anderen Wege erreicht werden, ohne nicht den Schwefel zu befeuchten oder einen Niederschlag auf ihn abzulagern. Nachdem ich ihn 24 Stunden lang mit der Sauerstoffröhre in Schlieſsung gehalten hatte, gab das Galvanometer keine Ablenkung. Ein kleiner mit Handgriff versehener Eisenreif wurde nun erhitzt und über die den Schwefel und Stickstoff enthaltende Röhre gehalten, während die Drähte mit dem Galvanometer verbunden waren (Fig. 16, Taf. III). Das Resultat war sehr auffallend. Ich lieſs das Galvanometer von meinem Gehülfen beobachten, während ich die Manipulation ausführte. In demselben Augenblick, wo ich den Schwefel schmelzen sah, rief er aus, daſs das Galvanometer abgelenkt werde. Während der ganzen Zeit, da der Schwefel flüssig war, blieb das Galvanometer abgelenkt, selbst noch einige Zeit hernach, bis aller im Stickgas verbreiteter Schwefeldampf verbraucht worden war. Der Schwefel ersetzte das Zink in einer gewöhnlichen Volta'schen Combination. Es war daher unmöglich in diesem Falle, den aequivalenten Verbrauch nachzuweisen. Dieser Versuch zeigt die Analogie des Schwefels mit dem Phosphor in sehr auffallender Weise und beweist, daſs der Schwefel im Momente seiner Schmelzung ein flüchtiger Körper wird, wie es der Phosphor im starren Zustande ist. Die Plötzlichkeit der Wirkung, verbunden mit der Unlöslichkeit des Schwefels, führt zu dem Schluſs, daſs Lösung in dem Elektrolyt kein nothwendiges Antecedens zur Volta'schen Action in der Gasbatterie ist. Dieſs hätte indeſs schon aus den Versuchen mit Phosphor geschlossen werden können, da der Dampf desselben beinahe oder ganz unlöslich in dem Elektrolyt seyn muſs, weil sonst die aequivalenten Resultate nicht so

genau ausgefallen seyn würden. Möglicherweise sind Lösung und Elektrolyse in diesen Fällen synchron.

(43) Ich wurde nun veranlaſst, noch andere Substanzen als Phosphor und Schwefel in der Gasbatterie zu versuchen, die wegen ihres Charakters bisher nicht als Volta'sche Erreger angewendet werden konnten; wenn meine Ansicht über die Flüchtigkeit des Phosphors und Schwefels richtig war, muſsten andere flüchtige Körper ähnlich wirken. Zunächst experimentirte ich mit *Kampher*. Ein Stück Kampher, 12,9 Gran wiegend, wurde in ähnlicher Weise wie der Phosphor (33) in Stickgas gebracht und mit Sauerstoff verknüpft. Mit dem Galvanometer geprüft, zeigte sich eine schwache Ablenkung, die indeſs anhaltend war. Ich hielt die Kette vier Monate lang geschlossen. Nach Verlauf dieser Zeit war die Flüssigkeit in der Sauerstoffröhre 0,3 Kubikzoll gestiegen. Das Stickgas, in welchem der Kampher hing, hatte sein Volum um 0,15 Kubikzoll vergröſsert. Der Kampher wog nun 11,4 Gran, allein es waren an der Wölbung der Röhre einige kleine Krystalle desselben zu entdecken, so daſs der Gewichtsverlust gröſser als der von der Volta'schen Action herstammende seyn muſste.

(44) Die Kleinheit der dem Stickgase hinzugetretenen Gasmenge verhinderte eine genaue Analyse derselben. Sie reichte jedoch hin, um mich glauben zu lassen, daſs sie ein Kohlenwasserstoff war, und nun suchte ich sie in gröſserer Menge darzustellen. Ich befestigte ein Stück Kampher und ein Stück Platinschwamm an einem und demselben Platindraht und brachte nun diesen in eine über destillirtem Wasser mit Stickgas gefüllte Röhre. Nach Verlauf von drei Monaten hatte sich das Gas um 0,1 Kubikzoll vergröſsert. Dieſs zeigt, daſs der Kampherdampf bei gewöhnlicher Temperatur durch die katalytische Action des Platins zersetzbar ist, und daſs die Wirkung in der Stickstoffzelle der Gasbatterie nicht von einer Volta'schen Action herrührte. Allein der Versuch gab mir von dem Gase keine hinlängliche Menge zur Analyse.

(45) Ich nahm daher meine Zuflucht zu dem Apparat Fig. 17, Taf. III; darin ist *a* ein umgekehrtes Probeglas, *b* ein Platinnapf mit einem Nadelloch im Boden zum Abfluſs und auf einem elfenbeinernen Gestelle stehend, *cc* zwei dicke Platindrähte, *d* ein Gewinde von feinem Platindraht. In *b* wurde der Kampher gebracht, das mit destillirtem Wasser gefüllte Glas *a* darüber gestülpt, und bis zu einer etwas unter dem Napfe befindlichen Marke mit reinem Stickgas gefüllt. Endlich verknüpfte man die Drähte *w*, *w'* mit einer Volta'schen Batterie von zureichender Stärke, um den Draht *d* in volles Glühen zu versetzen.

(46) Nachdem der Draht glühte, vergröſserte sich allmälig das Gasvolum; als es sich verdoppelt hatte, wurde das Gas untersucht. Es roch sehr unangenehm, ähnlich dem Steinkohlengase, und brannte mit blauer, schwach gelb gefärbter Flamme. In ein Eudiometer von der zuvor beschriebenen Form gebracht [1]) und mit Wasserstoff gemengt, erlitt es keine Veränderung. Zwei Volume desselben, gemengt mit einem Volum Sauerstoff, zogen sich um ein Sechstel des Gesammtvolums zusammen, und darauf mit Kalkwasser geschüttelt, noch um zwei Sechstel, dabei die Röhre mit einer Kruste von kohlensaurem Kalk auskleidend. Der Rückstand war Stickgas. Offenbar war also der Kampherdampf durch den glühenden Draht in Kohlenwasserstoff und Kohlenoxyd zersetzt. Die Analogie ist zu direct, um irgend zweifeln zu lassen, daſs diese Gase auch bei den Versuchen (43) und (44) durch den Einfluſs des Platinblechs und des Platinschwamms erzeugt worden waren.

Der Apparat Fig. 18, Taf. III giebt ein sehr bequemes Mittel zur Zersetzung flüchtiger Kohlenwasserstoffe und vielleicht anderer Substanzen.

(47) Nun wurden Portionen von Terpenthin- und

1) *Phil. Mag.* August 1841, *p.* 99 und *Phil. Transact.* 1843, *p.* 105 (S. Ann. Bd. 71, S. 194.).

Digitized by Google

Cassiaöl in Näpfe wie Fig. 15 gebracht, gewägt und auf die in (42) beschriebene Weise in der weiten Röhre einer Gasbatterie einer Atmosphäre von Stickgas ausgesetzt. Sie gaben eine sehr entschiedene Ablenkung, wobei sich der Stickstoff wie Zink verhielt. Die Ablenkung war dauernd, und die Flüssigkeit stieg in den Sauerstoffröhren; allein der Betrag des Steigens war zur Zeit der Abfassung dieses Aufsatzes noch zu gering, um aus dem Gewichtsverlust ein brauchbares Resultat abzuleiten [1]).

(48) Alkohol und Aether, auf ähnliche Weise behandelt, gaben bedeutende Volta'sche Wirkung. Beim Alkohol war sie, wegen seiner gröſseren Löslichkeit in Wasser, wahrscheinlich am stärksten.

(49) Der Vorgang in den Versuchen (43) und (47) ist sonderbar. Es scheint, daſs das Platin in der Stickstoffröhre zuerst den Kohlenwasserstoffdampf zersetze [2]), und daſs dann dasselbe Platin mit der damit verknüpften Platte die getrennten Bestandtheile wiederum mit Sauerstoff verbinde. Beim Versuch (42) geschieht die Zersetzung schneller als die Wiedervereinigung, wie sich in der That aus der Abwesenheit des Widerstands des Elektrolyten im ersten Falle erwarten läſst, und dadurch erfolgt die Vermehrung des Gases in der Stickstoffröhre.

(50) Die Wirkung der obigen flüchtigen Substanzen verstärkt durch Analogie den (35) ausgesprochenen Satz, daſs der starre Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur und der geschmolzene Schwefel als flüchtige Sub-

1) Dec. 1845. — Das Steigen der Flüssigkeit war langsam, aber anhaltend, und die Galvanometernadel wich schwach ab; im Terpenthinöl betrug das Steigen = 0,7 Kubikzoll, im Cassiaöl = 0,5. Wegen Unregelmäſsigkeit der Absorption und Verdampfung gaben aber die Gewichte keine Auskunft über den aequivalenten Verbrauch. So hatte das Terpenthinöl 0,7 Gran verloren und das Cassiaöl 0,05 Gran gewonnen.

2) Ich gebrauche dieses Wort hier wie im Titel, um Umschreibungen zu vermeiden; es ist für viele dieser Körper nicht ganz richtig.

Digitized by Google

stanzen betrachtet werden müssen. Die Gesammtheit dieser Versuche dient auch zum Erweise, daſs das Galvanometer ein empfindlicher Anzeiger und in einigen Fällen ein Messer der Verflüchtigung ist.

(51) So wie die Gasbatterie, wie in dem vorhergehenden Aufsatz gezeigt worden ist, uns in den Stand setzt, Gase, welche früher nicht als Volta'sche Erreger gebraucht wurden, auf ihre elektro-chemischen Beziehungen zu untersuchen, so eröffnet sie durch die in diesem Aufsatz auseinandergesetzten Mittel ein Feld zur Erforschung der Volta'schen Relationen und quantitativen elektro-chemischen Combinationen von starren und flüssigen Substanzen, die wegen ihrer physischen Eigenschaften bisher noch nicht auf den Listen der Volta'schen Relationen verschiedener Substanzen angetroffen wurden und folglich in gewissem Grade eine Lücke (*blank*) in der chemischen Theorie (könnten wir nicht sagen: dem Gesetz?) der Volta'schen Säule bildeten. Diese Resultate, vereint mit den früher aufgestellten Tafeln über elektro-chemische Relationen, liefern bei den groſsen Verbesserungen, die neuerlich von Hrn. Wheatstone und Anderen an den Apparaten zur Messung dieser Relationen angebracht sind, alle Hoffnung, daſs wir zuletzt genaue Maaſse der Affinität erhalten werden. Ich gebe die folgende Tafel als eine angenäherte Liste, ohne die Grade der Intensität ausdrücken zu wollen, die nur durch eine sorgfältige, ausschlieſslich diesem Gegenstand gewidmete Reihe von Untersuchungen bestimmt werden können.

(52)

Chlor.
Brom.
Jod.
Hyperoxyde.
Sauerstoff.
Stickstoffoxyd.
Kohlensäure.
Stickstoff.
Metalle, welche das Wasser unter gewöhnlichen Umständen nicht zersetzen.
Kampher.
Aetherische Oele.
Oelbildendes Gas.

Digitized by Google

Aether.	Kohlenoxyd.
Alkohol.	Wasserstoff.
Schwefel.	Metalle, welche Wasser zersetzen.
Phosphor.	

Wiewohl Kohlenoxyd und Stickstoff neutral zu seyn scheinen und folglich den das Wasser nicht zersetzenden Metallen, als den Knoten- oder Nullpunkt der Tafel bildend, beigesellt werden könnten, so habe ich sie doch, wegen ihrer eigenthümlichen, in (29) und (30) beschriebenen Wirkung, über diese Metalle gestellt [1]).

(53) Die in dem gegenwärtigen und früheren Aufsatz enthaltenen Resultate, glaube ich, werden hinreichend das durch die Gasbatterie eröffnete Feld der Untersuchungen bezeichnen, ein Feld, welches natürlich unendlich ausgedehnt werden kann. Ich habe niemals die Gasbatterie für ein practisches Mittel zur Erzeugung der Volta'schen Kraft gehalten, obwohl Einige, wegen meiner früheren Untersuchungen, welche in die Salpetersäure-Batterie ausliefen, geglaubt haben, ich hätte die Gasbatterie zu solchen Zwecken vorgeschlagen. Es giebt jedoch eine Form der Gasbatterie, welche ich hier beschreiben will, die mir, wo eine continuirliche Intensität oder elektromotorische Kraft erforderlich, die Quantität der Elektricität aber ganz unwesentlich ist, einige Vorzüge vor jeder andern bisher construirten Batterie zu besitzen scheint und überdieſs, unabhängig von jeder practischen Anwendung, wegen der dabei stattfindenden eigenthümlichen Umstände, nicht ohne Interesse ist. Man sieht sie abgebildet in Fig. 18 und 19, Taf. III.

AA' ist eine lange Glasröhre, mit einer Reihe daran sitzender offener Schenkel. Die Hauptröhre oder der Kanal endigt bei *A* mit einem Stöpsel und bei *A'* in einem

1) Ich bin kürzlich auf die Schwierigkeit aufmerksam geworden, die Grotthus'sche Theorie mit vielen der Combinationen bei der Gasbatterie zu vereinbaren, und habe diese Schwierigkeit im *Philosophical Magazine*, *Nov.* 1845, ausgesprochen.

Digitized by Google

Trichter, wie es die Figur zeigt. In eine Reihe von Gläsern BB' sind Platindrähte eingekittet mit daran sitzenden Streifen von platinirtem Platinblech, zwei in jedem Glase, von denen der eine 4 Zoll lang und 0,5 Zoll breit, der andere aber 1,5 Zoll lang und 1 Zoll breit ist. Die Streifen der ersteren Art sind niedriger gestellt als die letzten, so dafs, wenn die Gläser mit Flüssigkeit gefüllt werden, die Oberfläche derselben die ersteren eben bedeckt und die letzteren halbirt. Das letzte Glas B' hat kein Platin. Diese Platinstreifen sind durch äufsere Drähte metallisch mit einander verbunden, der schmale einer Zelle mit der breiten der nächsten, und so fort durch die ganze Reihe. Nachdem man die Gläser bis zum oberen Ende der schmalen Platinstreifen mit gesäuertem Wasser gefüllt hat, legt man ein Stück Zink, mit einer Unterlage versehen, in das Glas B', zieht den Stöpsel vom Ende A ab und senkt den Apparat AA' in die Gläser, so dafs die röhrenförmigen Schenkel den schmalen Platinstreifen in jedem Glase überstülpen. Die Schenkel füllen sich demgemäfs mit der Flüssigkeit, und die Hauptröhre bleibt voll atmosphärischer Luft. Die letztere wird allmälig durch den vom Zink aufsteigenden Wasserstoff verdrängt, und dieser Wasserstoff wird wegen der Krümmung bei A seine Stelle behaupten. Wenn man glaubt, dafs die Luft gröfstentheils ausgetrieben sey, wird der Stöpsel, mit etwas Fett bestrichen, bei A wieder aufgesetzt. Der Wasserstoff geht nun rasch in allen Schenkeln hinab, bis das Zink blofsgelegt ist, wo er dann stehen bleibt.

Wir haben nun eine Gasbatterie, deren Enddrähte die gewöhnlichen Volta'schen Wirkungen geben, indem die atmosphärische Luft eine unerschöpfliche Quelle von Sauerstoff ist, und der Wasserstoff, so wie es erforderlich ist, erneut wird, wenn die Flüssigkeit steigt und das Zink berührt. Versieht man sie, wenn's nöthig ist, mit frischem Zink, so hat man eine sich selbst ladende Batterie, welche einen continuirlichen Strom liefert. Nie-

Digitized by Google

mals sind neue Platten nöthig, niemals wird der Elektrolyt gesättigt, und er bedarf keines andern Ersatzes als den für die unbedeutende Verdampfung, welcher indeſs, wenn die Batterie in Thätigkeit ist, durch das neu gebildete Wasser vermindert wird. In dem Fuſsgestell beſindet sich eine Oeffnung mit Schieber, durch welche das Gefäſs *B'* erforderlichenfalls entfernt werden kann, um das Zink zu erneuern, ohne den übrigen Theil des Apparats zu stören. Diese Batterie würde eine elegante Stellvertreterin der Wasserbatterie sein, und sie, bei gleicher Zahl von Elementen, bedeutend an Intensität übertreffen. Sie wäre anwendbar zu Versuchen über langsame Krystallisation, möglicherweise auch zu Telegraphen. Ihre Construction ist schwierig und kostbar, allein hernach ist sie von allen bisher bekannten die dauerhafteste, leichteste zu laden und freieste von localer Action. Ich habe eine von 10 Zollen construirt (Fig. 19, Taf. III), welche Funken giebt, Wasser zersetzt etc. und immer zum Gebrauche bereit ist. Jede Zahl solcher Reihen kann durch Ansatzröhren mit einander verbunden werden; noch ökonomischer und gesicherter gegen die Gefahr des Zerbrechens würde es seyn, wenn man den Hauptkanal *AA'* von geſirniſstem Holz oder Porzellan nähme und Oeffnungen darin anbrächte, worin die einzelnen Glasröhren eingekittet wären.

London Institution, 1845, May 30.

Digitized by Google

III. *Ueber die Gesetze der Doppelbrechung des Quarzes;* *von James Mac Cullagh in Dublin.*

(*Transact. of the Roy. Irish. Academy, Vol. XVII. p.* 461. — Es ist dieſs der Aufsatz, auf welchen Hr. Airy bei seinem Versuch, die Wirkung des Magnetismus auf das Licht zu erklären, sich neuerlich (Ann. Bd. LXX. S. 277) bezogen hat. *P.*)

Die successive durch die Untersuchungen von Arago, Biot, Fresnel und Airy entdeckten sonderbaren Gesetze der Doppelbrechung des Quarzes sind nur als eben so viele unabhängige Thatsachen bekannt; sie sind noch nicht durch irgend eine Art von Theorie mit einander verknüpft worden. Ich beabsichtige daher zu zeigen, wie diese Gesetze hypothetisch erklärt werden können, wenn man in die Gleichung für die Schwingungsbewegung Differentialcoëfficienten dritter Ordnung einführt.

Gesetzt, eine ebene Lichtwelle pflanze sich in einem Quarzkrystall fort. Seyen x, y, z die rechtwinklichen Coordinaten des schwingenden Theilchens, sey die Axe der z senkrecht auf der Ebene der Welle und die Axe der y senkrecht auf der Axe des Krystalls; sey auch angenommen, daſs die Schwingungen genau in der Wellenebene und folglich parallel der Ebene der xy geschehen. Bezeichnen dann ξ und η zu irgend einer Zeit t die Verschiebungen parallel respective den Axen der x und y, so wollen wir zur Erklärung der Gesetze des Quarzes die folgenden beiden Gleichungen annehmen:

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = A\frac{d^2\xi}{dz^2} + C\frac{d^3\eta}{dz^3} \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

$$\frac{d^2\eta}{dt^2} = A\frac{d^2\eta}{dz^2} - C\frac{d^3\eta}{dz^3} \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

Die Eigenthümlichkeiten dieses Krystalls hängen von der Constanten C ab. Wenn $C=0$, so verschwindet der

dritte Differentialcoëfficient, und die Gleichungen kommen auf die gewöhnliche Form zurück, in welchem Zustand sie mit den gemeinen Gleichungen für einaxige Krystalle übereinstimmen. Setzt man also a für die Reciproke des ordentlichen Indexes, b für die Reciproke des auſserordentlichen, und φ für den Winkel, den die Axe der z mit der Axe des Krystalles bildet, so muſs man haben:

$$A = a^2 \qquad B = a^2 - (a^2 - b^2) \sin^2 \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

dabei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft zur Einheit genommen.

Nun müssen, wegen der Natur der Gleichungen (1) und (2), die Schwingungen elliptisch seyn. Setzen wir nämlich:

$$\xi = p \cos \left\{ \frac{2\pi}{l} (st - z) \right\} \qquad \eta = q \sin \left\{ \frac{2\pi}{l} (st - z) \right\} \quad . \quad . \quad (4)$$

wo p, q, s, l constante Gröſsen sind, so wird den Differentialgleichungen genügt seyn, wenn für s und den Quotienten $\frac{q}{p}$ geeignete Werthe genommen werden. Denn nachdem man die Werthe der durch Differentiation der Formeln (4) erhaltenen partiellen Differentialcoëfficienten in den Gleichungen (1) und (2) substituirt hat, findet man, daſs jedes Glied einer jeden Gleichung denselben *Sinus* oder *Cosinus* zum Factor hat. Läſst man daher die gemeinschaftlichen Factoren fort und macht $\frac{q}{p} = k$, so erhält man die folgenden zwei Bedingungsgleichungen:

$$s^2 = A - \frac{2\pi}{l} C k \quad . \quad . \quad (5) \quad ; \quad s^2 = B - \frac{2\pi}{l} \frac{C}{k} \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

und zieht man letztere von ersterer ab, so kommt:

$$A - B + \frac{2\pi C}{l} \left(\frac{1}{k} - k \right) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

was durch Formel (3) wird:

$$k^2 - \frac{l}{2\pi C} (a^2 - b^2) \sin^2 \varphi \, . \, k = 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Digitized by Google

Legen wir nun diese Resultate aus. Aus den Formeln (4) ist klar, daſs s die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Welle von der Länge l ist, und daſs jedes schwingende Theilchen eine kleine Ellipse beschreibt, deren Halbaxen p und q parallel sind den Richtungen der x und y. Allein die Zahl k, welche das Verhältniſs der Halbaxen ausdrückt, hat zwei Werthe, deren einer die negative Reciproke des andern ist, wie aus Gleichung (8) erhellt, und jeder Werth von k hat einen entsprechenden, durch Gleichung (5) oder (6) bestimmten Werth von s. Es wird also zwei elliptisch polarisirte Wellen geben, die sich mit ungleichen Geschwindigkeiten bewegen, deren Axen aber in beiden Ellipsen dasselbe Verhältniſs haben, so jedoch, daſs die groſse Axe der einen mit der kleinen der andern zusammenfällt. Der Zeichen-Unterschied der beiden Werthe von k zeigt, daſs, wenn die Schwingung in der einen Welle von rechts nach links geht, sie in der andern von links nach rechts gehen wird. Diese Gesetze wurden von Hrn. Airy entdeckt.

Das Gesetz, nach welchem die Ellipticität der Schwingungen von der Neigung φ und von der Farbe des Lichtes abhängt, ist in der Gleichung (8) enthalten. Der Werth der Constanten C soll jetzt bestimmt werden. Einstweilen mag bemerkt seyn, daſs C eine Linie bedeutet, deren Länge, verglichen mit der Länge einer Welle, sehr klein ist.

Wenn $\varphi=0$, geht das Licht längs der Axe des Krystalls. In diesem Falle haben wir $k^2=1$ und $k=\pm 1$, was zeigt, daſs zwei in entgegengesetzten Richtungen circular-polarisirte Strahlen vorhanden sind. Den Werth von s für jeden Strahl erhält man aus der Gleichung (5) oder (6), indem man successive $+1$ und -1 für k setzt. Nennt man diese Werthe s' und s'', so finden wir:

$$s'^2 = a^2 - 2\pi\frac{C}{l} \qquad s' = a\left(1 - \frac{\pi C}{a^2 l}\right) \; ; \quad . \quad . \quad (9)$$

$$s''^2 = a^2 + 2\pi\frac{C}{l} \qquad s'' = a\left(1 + \frac{\pi C}{a^2 l}\right) \; ; \quad . \quad . \quad (10)$$

Digitized by Google

Gesetzt, eine Quarzplatte habe zwei parallele Flächen senkrecht auf der Axe, und es falle ein in gegebener Ebene polarisirter Lichtstrahl senkrecht auf sie ein. Die einfallende geradlinige Schwingung kann zerfällt werden in zwei entgegengesetzt circulare Schwingungen, die mit verschiedenen Geschwindigkeiten durch den Krystall gehen und nach ihrem Austritt in die Luft wieder eine geradlinige Schwingung zusammensetzen, deren Richtung einen gewissen Winkel ϱ mit der Richtung der einfallenden Schwingung bildet, so daſs die Polarisationsebene um den Winkel ϱ, den sogenannten Drehungswinkel, gedreht zu seyn scheint. Dieser Winkel kann mittelst der vorstehenden Formeln bestimmt werden.

Setzt man ϑ für die Dicke der Krystallplatte, so wird die circular polarisirte Welle, deren Geschwindigkeit s' ist, in der Zeit:

$$\frac{\vartheta}{s'} = \frac{\vartheta}{a}\left(1 + \frac{\pi C}{a^2 l}\right)$$

durch sie gehen, und die Welle, deren Geschwindigkeit s'' ist, in der Zeit:

$$\frac{\vartheta}{s''} = \frac{\vartheta}{a}\left(1 - \frac{\pi C}{a^2 l}\right)$$

Wenn also δ den Unterschied der Zeiten bezeichnet, wird man haben:

$$\delta = \frac{2\pi C \vartheta}{a^3 l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Da aber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft zur Einheit genommen ist, werden Zeit und Raum durch dieselbe Gröſse bezeichnet seyn, und deshalb bedeutet δ, welches offenbar eine Linie ist, den Abstand zwischen den Fronten der beiden circular polarisirten Wellen bei ihren Austritte in die Luft. Denken wir uns bei diesem Abstand der Wellen von einander, in gleicher Tiefe von jeder, ein Theilchen seine Schwingungen vollbringend und einen Radius seines Kreises längs mit sich ziehend, so werden die beiden Radien in entgegen-

Digitized by Google

geſetzten Richtungen rotiren und einander immer in einer mit der einfallenden geradlinigen Schwingung parallelen Lage kreuzen. Seyen nun beide Reihen von Wellen so superponirt, daſs sie jedes Theilchen durch ihren gemeinschaftlichen Effect afficiren, so ist klar, daſs, wenn der Radius vector der einen componirenden Schwingung die eben erwähnte Lage erreicht, der Radius vector der andern von ihm getrennt seyn wird durch einen Winkel $=\frac{2\pi\delta}{\lambda}$, wo λ die Wellenlänge in Luft ist. Die resultirende geradlinige Schwingung wird diesen Winkel halbiren, und daher wird ϱ, der Drehungswinkel, gleich seyn $=\frac{\pi\delta}{\lambda}$. Substituirt man also für δ seinen Werth, und erwägt, daſs l, die Wellenlänge im Quarz, gleich ist $a\lambda$, so findet man:

$$\varrho=\frac{2\pi^2 C\vartheta}{a^4\lambda^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

oder das experimentelle Biot'sche Geſetz, daſs der Drehungswinkel sich direct verhält wie die Dicke des Krystalls, und umgekehrt wie das Quadrat der Wellenlänge für irgend eine besondere Farbe. Aendert man das Zeichen von C, so erhält man eine gleiche Drehung in entgegengeſetzter Richtung. Und hier mag bemerkt seyn, daſs C in allen vorhergehenden Gleichungen negativ gemacht werden kann, wenn nur seine Gröſse sich nicht ändert. Es giebt zwei Arten von Quarz, rechts- und linksgewundene, unterschieden durch das Zeichen von C.

Der Drehungswinkel für eine gegebene Farbe und Dicke ist aus Hrn. Biot's Versuchen bekannt. Man kann daher den Werth von C mittelst der letzten Formel finden, und setzt man diesen Werth in die Gleichung (8), so ist man im Stande, k zu berechnen, wenn φ und l gegeben sind. Nun hat Hr. Airy durch eine sehr sinnreiche Beobachtungsmethode die Werthe von k in rothem Lichte für zwei verschiedene Werthe von φ

Digitized by Google

bestimmt [1]), und natürlich müssen wir diese beobachteten Werthe von k mit den unabhängigen Resultaten der Theorie vergleichen. Da Hr. Airy seine Versuche mit rothem Lichte machte, so werden wir zum Gegenstand unserer Rechnungen den rothen Strahl nehmen, welcher im Fraunhofer'schen Spectrum mit dem Buchstaben C bezeichnet ist. Für diesen Strahl hat Fraunhofer die Länge λ, ausgedrückt in Theilen des englischen Zolls, $=0,0000258$ gegeben, und Rudberg hat $a=0,64859$, $b=0,64481$ gefunden. Aus den Versuchen des Hrn. Biot geht hervor, daſs der Drehungsbogen, erzeugt durch die Dicke eines Millimeters, für den gewählten Strahl etwas mehr als 19° beträgt, so daſs der Bruch $\frac{1}{3}$ sehr nahe als Ausdruck der Länge dieses Bogens in einem Kreise, dessen Radius eins ist, genommen werden kann. Wir haben deshalb $\vartheta=0,03937$ Zoll und $\varrho=0,333$. Diese Werthe in der aus (12) abgeleiteten Gleichung

$$\frac{l}{2\pi C}=\frac{\pi\vartheta}{a^3\lambda\varrho}$$

substituirend, finden wir:

$$\frac{l}{2\pi C}=52710$$

woraus erhellt, daſs C ungefähr zwanzigtausend Mal kleiner ist als der millionte Theil eines Zolls.

Da ferner $a^2-b^2=0,00489$, so haben wir:

$$\frac{l}{2\pi C}(a^2-b^2)=258$$

so daſs Gleichung (8) wird:

$$k^2-258\,sin^2\varphi\,.\,k=1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Die Resultate dieser Formel, verglichen mit Hrn. Airy's Formel, enthält die folgende Tafel, in welcher die kleinste Wurzel für k genommen und ihr Zeichen vernachlässigt worden ist.

1) *Transact. of the Cambridge Phil. Soc. Vol. IV. p.* 205. (Ann. Bd. 23, S. 268.)

Digitized by Google

Werthe von φ.	Werthe von k beobachtet.	Werthe von k berechnet.
6° 15'	*tang* 16° 38 = 0,2987	0,2980
8 54	*tang* 8 56 = 0,1572	0,1579

Die Winkel φ in der ersten Columne sind aus den beobachteten Neigungen der Strahlen in der Luft gegen die Axe des Krystalles hergeleitet, und da k etwas verschieden für die ordentlichen und auſserordentlichen Strahlen beobachtet wurde, so sind in der zweiten Columne die Mittelwerthe gegeben worden. Die genaue Uebereinstimmung zwischen diesen und den berechneten Werthen ist vielleicht zufällig, allein schon eine geringere Uebereinstimmung würde hinreichend seyn, die Theorie zu bestätigen.

Die Gröſse von k verändert sich bedeutend mit der Farbe des Lichts, wächst vom Rothen zum Violetten, während der Coëfficient von $\sin^2 \varphi . k$ in der Formel (13) abnimmt. Nimmt man z. B. den violetten Strahl H, so wird dieser Coëfficient etwa 159 seyn. Allein es würde nutzlos seyn, mehr Berechnungen zu machen, da wir keine Versuche haben, mit denen sie verglichen werden könnten.

Es bleibt nun noch die Gestalt der Wellenfläche zu untersuchen. Eliminirt man k zwischen den Gleichungen (5) und (6), so entsteht die Gleichung:

$$(s^2 - A)(s^2 - B) = 4\pi^2 \frac{C^2}{l^2} \quad \ldots \quad (14)$$

welche die Natur der Fläche ausdrückt, da s ein Perpendikel vom Anfangspunkt auf eine Tangentialebene ist. Aus dieser Gleichung folgt, daſs die beiden Werthe von s niemals im Quarze gleich werden können, wie sie es in andern Krystallen thun; denn wenn wir die Gleichung für s^2 auflösen und die Wurzelgröſse gleich Null setzen, erhalten wir die Bedingung

$$(A - B)^2 + 16\pi^2 \frac{C^2}{l^2} = 0$$

welcher nicht genügt werden kann, da die Gröſse, welche

Digitized by Google

verschwinden müſste, die Summe zweier Quadrate ist. Die beiden Stücke (*sheets or nappes*) der Wellenfläche sind daher absolut getrennt.

Es wird gewöhnlich angenommen, daſs einer der Strahlen nach dem ordentlichen Gesetze gebrochen werde; allein dies ist nicht der Fall, da keiner der Werthe von s constant ist. Indeſs mag der Strahl, welcher die gröſsere Geschwindigkeit besitzt (denn a ist gröſser als b), immerhin, der Bequemlichkeit wegen, der ordentliche Strahl genannt werden. Von den beiden Wurzeln der Gleichung (8) entspricht die eine, k_o, deren Zahlenwerth, vorausgesetzt, daſs φ nicht verschwinde, kleiner als Eins ist, diesem Strahle. Wenn C positiv ist, ist k_o negativ, und wenn C negativ ist, ist k_o positiv. Durch die Formeln (5) und (6) haben wir also in beiden Arten vom Quarze $s_o^2 > A$ und $s_e^2 < B$, wo s_o und s_e die respectiven Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der ordentlichen und auſserordentlichen Wellen bezeichnen. Denken wir uns also eine Kugel vom Radius a, deren Centrum im Anfangspunkt liegt, und concentrisch damit ein abgeplattetes Sphäroïd, dessen halbe Umdrehungsaxe auch gleich a und parallel der Axe des Krystalles ist, während der aequatorale Radius gleich b ist, so wird das ordentliche Stück (*nappe*) der Wellenfläche ganz auſserhalb der Kugel fallen, und das auſserordentliche Stück ganz innerhalb des Sphäroïds, mag nun der Krystall rechts oder links gewunden seyn. Hinsichtlich der kleinen Ellipse, in welcher die Schwingungen geschehen, und deren mit x und y parallelen Halbaxen respective durch p und q vorgestellt werden, so ist klar, daſs bei der ordentlicen Welle $p > q$, weil $k_o < 1$, und bei der auſserordentlichen Welle $p < q$. Wenn C verschwindet, verschwindet auch die kleine Axe jeder Ellipse, und die Strahlen werden geradlinig polarisirt; die ordentlichen Schwingungen werden parallel der Richtung der x, und die auſserordentlichen parallel der der y. Dieſs ist genau, was geschehen müſste in der Voraussetzung, daſs die

die Schwingungen des eben-polarisirten Strahls parallel sind seiner Polarisationsebene [1]); eine Voraussetzung, welche bei Entwerfung der Fundamentalgleichungen (1) und (2) im Auge gehalten wurde.

Um genau zu zeigen, wie die beiden Arten von Quarz durch das Zeichen von C zu unterscheiden seyen, müssen wir den Coordinataxen bestimmte Richtungen geben. Zu dem Ende sey angenommen, die Ebene der xy liege horizontal und es sey in ihr aus dem Anfangspunkt O ein Kreis gezogen. Der Nord-, Ost- und Südpunkt dieses Kreises sey respective mit N, E, S bezeichnet. Die Richtung der $+x$ sey gen Ost von O nach E, die der $+y$ gen Nord von O nach N, und die der $+z$ senkrecht herunter. Das Licht gehe durch den Krystall ebenfalls herunter, und die Wellenebene bewege sich, wie zuvor, parallel der Ebene der xy. Dann wird der Krystall rechts- oder linksgewunden seyn, je nachdem C positiv oder negativ ist. Denn wenn C positiv ist, wird $k_{\circ}$ negativ seyn, und die Formeln (4) werden, indem sie das Zeichen von $k_{\circ}$ zeigen, für die ordentliche Schwingung

$$\xi = p \cos\left\{\frac{2\pi}{l}(st - z)\right\} \quad ; \quad \eta = -k_{\circ} p \sin\left\{\frac{2\pi}{l}(st - z)\right\}; \quad (15)$$

und für die auſserordentliche Schwingung

$$\xi = k_{\circ} q \cos\left\{\frac{2\pi}{l}(st - z)\right\} \; ; \; \eta = q \sin\left\{\frac{2\pi}{l}(st - z)\right\}; \quad . \quad (16)$$

1) Ueber diesen Punkt giebt es zwei sehr verschiedene Ansichten. Fresnel nahm bekanntlich an, daſs die Schwingungen eines eben-polarisirten Strahls winkelrecht auf seiner Polarisationsebene seyen; wogegen sie nach Hrn. Cauchy, dem ich gefolgt bin, dieser Ebene parallel sind. Ich bin veranlaſst, die letztere Annahme zu gebrauchen, weil es mir mittelst Hypothesen, die auf ihr beruhen, geglückt ist, die Gesetze der Reflexion von Krystallflächen zu entdecken, Gesetze, welche die von Fresnel für gewöhnliche Mittel entdeckten als besonderen Fall einschlieſsen. Die erwähnte Hypothese, nebst einigen ihrer Resultaten, sind im *Phil. Mag.* (1836) *Vol. VIII*, *p.* 103, in einem Briefe an Sir David Brewster veröffentlicht. Siehe auch *Vol. VII* (1835), *p.* 295, desselben Journals. (Siehe auch diese Ann. Bd. 38, S. 276.)

Gesetzt nun, der Bogen $\frac{2\pi}{l}(st-z)$ verschwinde entweder oder werde ein Vielfaches des Umfangs, so wird das Theilchen im Ostpunkt seiner Schwingung seyn; und wenn die Zeit ein wenig zunimmt, wird der Werth von η in (15) negativ und in (16) positiv werden, so daſs die Bewegung im ersten Fall südwärts und im zweiten nordwärts seyn wird. Wenn also C positiv ist, geschieht die ordentliche Schwingung in der Richtung *NES* oder von links nach rechts, und die auſserordentliche in der Richtung *SEN* oder von rechts nach links, angenommen der Zuschauer sehe in der Richtung der Fortpflanzung des Lichts. Ebenso läſst sich zeigen, daſs, wenn C negativ ist, die ordentlichen und auſserordentlichen Vibrationen in den Richtungen *SEN* und *NES* geschehen oder respective von rechts nach links und von links nach rechts. Wenn sich nun ein eben-polarisirter Strahl längs der Axe des Krystalles fortpflanzt, wird die Polarisationsebene in die Richtung der ordentlichen Schwingung gedreht seyn, weil diese Schwingung, als schneller fortgepflanzt, beim Austritt aus dem Krystall der anderen vorauseilt. Die Drehung ist also von links nach rechts, wenn C positiv ist, und von rechts nach links, wenn C negativ ist; im ersten Fall wird der Krystall ein rechtsgewundener, im zweiten ein linksgewundener genannt.

Wir haben bisher vorausgesetzt, C sei eine constante Gröſse, und die Uebereinstimmung unserer Resultate mit der Erfahrung zeigt, daſs diese Voraussetzung wenigstens in der Nachbarschaft der Axe sehr nahe richtig ist. Es ist jedoch wahrscheinlich, nicht nur daſs C mit φ variire, sondern auch daſs es in den Gleichungen (1) und (2) ungleich werde, d. h. daſs die Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2\xi}{dt^2}&=A\frac{d^2\xi}{dz^2}+C\frac{d^3\eta}{dz^3}\\ \frac{d^2\eta}{dt^2}&=B\frac{d^2\eta}{dz^2}-C'\frac{d^3\eta}{dz^3}\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (17)$$

Digitized by Google

worin C' etwas verschieden von C ist, richtiger seyen würden als die früher angenommenen. In der That scheinen Hrn. Airy's Versuche anzudeuten, daſs C' gröſser ist als C; denn er fand, wie schon gesagt, daſs das Axenverhältniſs der kleinen Ellipse, die von einem schwingenden Theilchen beschrieben wird, etwas verschieden ist für die beiden Strahlen, für den ordentlichen Strahl der Gleichheit näher kommt als für den auſserordentlichen. Gehen wir nun von den Gleichungen (17) aus, statt von denen (1) und (2), und verfahren sonst ganz wie zuvor, so gelangen wir zu der Formel

$$k^2 - \frac{l}{2\pi C}(a^2 - b^2)\sin^2\varphi \, . \, k = \frac{C'}{C}$$

statt zur (8). Die Gröſse $\frac{C'}{C}$ wird gröſser als eins seyn, wenn C' gröſser als C ist, und der Werth von k_o wird gröſser als zuvor. Dieſs scheint den von Hrn. Airy beobachteten Unterschied der Verhältnisse zu erklären.

Es ist wohl zweckmäſsig, kurz die Betrachtungen anzugeben, welche zu der vorhergehenden Theorie geführt haben. Mit dem einfachen Fall eines längs der Axe fortgehenden Strahls beginnend, war das Erste, was erklärt werden muſste, das Biot'sche Gesetz, daſs der Drehungswinkel umgekehrt variirt wie das Quadrat von l oder λ. Fresnel, der zuerst die Drehungsphänomene auf eine Interferenz von zwei circular polarisirten Wellen zurückführte, hat nun bemerkt, daſs der Abstand δ zwischen diesen Wellen, bei ihrem Austritt aus dem Krystall, sich umgekehrt wie l verhalten muſs, wenn der Drehungswinkel sich umgekehrt wie l^2 verhält. Diese Bemerkung brachte mich auf die Idee, den Gleichungen der gewöhnlichen Theorie Glieder hinzuzufügen, welche die dritten Differential-Coëfficienten der Verschiebungen enthalten [1]), denn es war einleuchtend, daſs solche zusätz-

1) „Die sonderbare Relation zwischen dem Verzögerungs Intervall (δ) und der Wellenlänge (l) scheint der einzige Knäuel für die Beseiti-

lichen Glieder in dem Werthe von s^2 einen Theil geben würden, der umgekehrt l proportional sein würde. Es war auch klar, daſs der dritte Differentialcoëfficient von ξ mit dem zweiten Differentialcoëfficienten von η combinirt werden muſste, und der dritte von η mit dem zweiten von ξ, damit, nach Substitutionen, wie die bei Herleitung der Formeln (5) und (6) angezeigten, die *Sinus* und *Cosinus* durch Division verschwänden, und der Werth von s^2, wie er es muſs, unabhängig würde von der Zeit. Diese Art des Folgerns leitete mich für den Fall eines längs der Axe fortgehenden Strahls zur Annahme der Gleichungen:

$$\frac{d^2\xi}{dt^2}=a^2\frac{d^2\xi}{dz^2}+C\frac{d^3\eta}{dz^3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

$$\frac{d^2\eta}{dt^2}=a^2\frac{d^2\eta}{dz^2}+D\frac{d^3\xi}{dz^3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

und als ich in diesen Gleichungen die Werthe der Differentialcoëfficienten substituirte, die durch Differentiation der Formeln

$$\xi=p\cos\left\{\frac{2\pi}{l}(st-z)\right\} \quad , \quad \eta=\pm p\sin\left\{\frac{2\pi}{l}(st-z)\right\}$$

erhalten werden, Formeln, die eine Circularvibration ausdrücken (von rechts nach links oder von links nach rechts, je nach dem Zeichen des zweiten p), war das Resultat aus (19):

$$s^2=a^2\mp\frac{2\pi}{l}C$$

und aus (20):

$$s^2=a^2\pm\frac{2\pi}{l}D,$$

welches zeigte, daſs $D=-C$, da die Werthe von s, welche derselben Circularvibration entsprechen, gleich seyn

gung dieser Schwierigkeit zu seyn." — *Report on physical Optics by Professor Lloyd* (*Fourth Report of the British Association, p.* 409). — Durch das Lesen dieses Berichtes kam Fresnel's Bemerkung über die Relation zwischen δ und l zuerst zu meiner Kenntniſs.

Digitized by Google

muſsten. Der Uebergang von diesem einfachen Fall zu dem eines gegen die Axe unter einem gegebenen Winkel φ geneigten Strahls war leicht gemacht, indem man das doppelbrechende Gefüge des Krystalls in Rechnung nahm. Dieſs geschah durch die Annahme, daſs ξ und η parallel den Hauptrichtungen in der Wellenebene seyen, und durch Veränderung von a^2, Gleichung (20), in $a^2 - (a^2 - b^2) \sin^2 \varphi$. So wurden die Fundamentalgleichungen (1) und (2) erhalten.

IV. *Ueber die Reflexion an Metallen; von Hrn. J. Jamin.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XIX, p.* 296.)

In einer in der *Philosophical Transactions* für 1830 veröffentlichten merkwürdigen Abhandlung hat der Dr. Brewster die Aufmerksamkeit der Physiker auf die bei der Reflexion an Metallen eintretenden Erscheinungen hingelenkt [1]), und ohne die Natur der dabei dem Lichte eingeprägten Modificationen zu ermitteln, hat er Versuche angestellt, welche ihm einige isolirte Gesetze entdecken lieſsen, von denen er keine theoretische Erklärung gab. Seit jener Zeit ist die Reflexion an Metallen Gegenstand fortgesetzter Studien geworden, einerseits mathematischer, von denen wir noch weiterhin zu sprechen Anlaſs haben, andrerseits experimenteller, die nicht zahlreich genug, um das Problem vollständig zu lösen, oft in Bezug auf Genauigkeit viel zu wünschen übrig lassen und nach sehr complicirten Messungsmethoden angestellt sind. In der Absicht eben, die Methoden zu vereinfachen und die Untersuchungen zu erweitern, habe ich die folgende Arbeit unternommen. Ehe ich zu ihr übergehe, will ich

1) Siehe Ann. Bd. 21, S. 219. *P.*

Digitized by Google

die einfachsten und allgemeinsten der von Hrn. Brewster entdeckten Gesetze aufzählen:

1) Läſst man einen polarisirten Strahl im Azimut 0° oder 90° beliebig oft an einem Metalle reflectiren, so ist er nach der Reflexion immer in derselben Ebene polarisirt.

2) Jeder andere vor der Reflexion nach einem anderen Azimut polarisirte Strahl wird durch die Wirkung des Metalls theilweis depolarisirt.

3) Läſst man ein natürliches Lichtbündel auf einen Metallspiegel fallen, so wird er unter keiner Incidenz durch die Reflexion polarisirt, und er zeigt, bei Untersuchung mit einem Polariskop, die Erscheinungen eines partiell polarisirten Strahls. Ueberdieſs hat Hr. Brewster bemerkt, und dieſs ist wichtig, daſs es eine gewisse Incidenz giebt, bei welcher das Verhältniſs des durch Reflexion polarisirten Lichts am gröſsten ist. Diese Incidenz ist *Winkel des Polarisationsmaximums* genannt worden.

4) Wird polarisirtes Licht mehrmals beim Winkel des Polarisationsmaximums an parallelen Metallspiegeln reflectirt, so stellt sich die Polarisation nach einer geraden Zahl von Reflexionen wieder her.

5) Endlich wird der reflectirte Strahl nach einer geraden oder ungeraden Zahl von Reflexionen wieder polarisirt unter vielen Incidenzen, deren Gesetze noch zu ermitteln sind.

Da jeder vor der Incidenz nach irgend einer Ebene polarisirte Strahl in zwei andere nach den Azimuten 0° und 90° polarisirte zerlegt werden kann, und diese, Hrn. Brewster zufolge, bei der Reflexion ihr Azimut nicht verändern, so wird der reflectirte Strahl immer bestehen aus der Ueberdeckung zweier nach diesen Hauptazimuten polarisirten Strahlen, und sein Schwingungszustand wird bekannt sein, wenn man zuvor die Modificationen untersucht hat, welche die componirenden Strahlen bei ihren Reflexionen erleiden. Die erste Aufgabe, die wir

uns stellen müssen, ist also die: die Umwandlungen zu untersuchen, welche nach den Hauptazimuten polarisirte Strahlen bei der Reflexion erleiden.

Jeder polarisirte Strahl nun, der, ohne seine Polarisation zu verlieren oder sein Azimut zu ändern, irgend eine Einwirkung erleidet, kann keine Aenderung erfahren als in der Phase oder in der Intensität. Wir haben also zu untersuchen, ob diese Modificationen eintreten und nach welchen Gesetzen sie für zwei Strahlen geschehen, von denen der eine im Azimut 0° und der andere im Azimut 90° polarisirt ist. Wir beginnen dieses Studium mit der Bestimmung der Intensitäten.

I. Messung der Intensitäten des an Metallen reflectirten Lichts.

Läſst man Strahlen, polarisirt nach den Azimuten 0° und 90°, auf eine Glasplatte fallen, so werden die Intensitäten der reflectirten Bündel durch die Fresnel'schen Formeln

$$J'^2 = \frac{\sin^2(1-r)}{\sin^2(1+r)} \qquad I'^2 = \frac{\tang^2(1-r)}{\tang^2(1+r)}$$

vorgestellt. Diese von den HH. Arago und Brewster bestätigten Formeln sind bisher immer von den Physikern angenommen worden. Sie werden uns bei Messung der von den Metallen reflectirten Lichtmengen I^2 und J^2 als Ausgangspunkt dienen; es genügt dazu, einerseits I^2 und I'^2, andrerseits J^2 und J'^2 zu vergleichen.

Um diesen Vergleich zu machen, bringe man zwei Platten, die eine von Glas, die andere von Metall, so mit einander in Contact, daſs die polirten Oberflächen beider in einer selben Ebene liegen, und die beiden Platten eine einzige reflectirende Fläche bilden, von deren Theilen der eine aus Glas, der andere aus Metall besteht. Dann lasse man an der Mitte dieser Doppelplatte einen in der Einfallsebene polarisirten Strahl reflectiren, so daſs die eine Hälfte des Strahls vom Glase, die an-

Digitized by Google

dere vom Metall reflectirt wird. Beide werden im Azimut 0° polarisirt bleiben und beim Durchgang durch ein doppelbrechendes Prisma, dessen Hauptschnitt mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfällt, nur ein einziges Bild geben. Drehen wir aber dieses Prisma um einen Winkel β, so erhalten wir sowohl von dem am Glase, als von dem am Metall reflectirten Bündel ein ordentliches und ein auſserordentliches Bild, mithin vier Bilder, deren Intensitäten seyn werden:

	Metall.	Glas.
O	$J^2 \cos^2 \beta$	$J'^2 \cos^2 \beta$
E	$J^2 \sin^2 \beta$	$J'^2 \sin^2 \beta$

Wenn β sich ändert, so erleiden die ordentlichen und auſserordentlichen Bilder entgegengesetzte Intensitätsveränderungen, und es giebt immer einen besonderen Werth von β, welcher das ordentliche Bild des Metalls dem auſserordentlichen des Glases gleich macht.

Man hat in diesem Falle:

$$J^2 \cos^2 \beta = J'^2 \sin^2 \beta,$$

und ersetzt man J'^2 durch seinen aus den Fresnel'schen Formeln gezogenen Werth:

$$J^2 = \tan^2 \beta \frac{\sin^2 (1-r)}{\sin^2 (1+r)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Suchen wir dagegen den Werth β', welches das auſserordentliche Bild des Metalls dem ordentlichen des Glases gleich macht, so erhalten wir:

$$J^2 = \cot^2 \beta' \frac{\sin^2 (-r)}{\sin^2 (+r)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Die Erfahrung wird β und β' kennen lehren, die complementar seyn müssen, und wir werden J^2 mittelst der Formeln (2) und (3) berechnen.

Es ist übrigens klar, daſs sich diese Methode auch auf den Fall anwenden läſst, wo das Licht im Azimut 90° polarisirt ist. Man bestimmt ebenso das Azimut der gleichen Farben, und erhält:

$$I^2 = \tan^2 \beta \frac{\tan^2 (1-r)}{\tan^2 (1+r)} \qquad I^2 = \cot^2 \beta' \frac{\tan^2 (1-r)}{\tan^2 (1+r)} \quad (4)$$

Digitized by Google

nur wird am Glase, in der Nachbarschaft seines Polarisationswinkels, kein Licht mehr reflectirt, folglich ist dann kein Vergleich mehr möglich, und es tritt in dem Versuch eine Lücke von einigen Graden ein.

Wir polarisiren also successiv das Licht in der Einfallsebene und in der darauf winkelrechten Ebene, und um das Verhältniſs der in beiden Fällen vom Metallspiegel reflectirten Lichtmengen zu erhalten, drehen wir den Zerleger, bis die beiden ungleichnamigen Bilder, die von den beiden Substanzen gegeben werden, gleich sind. Durch zwei getrennte Beobachtungen, die übereinstimmen müssen, finden wir die Azimute β und $90^{\circ}-\beta$ des Hauptschnitts; und die Intensität des am Metall reflectirten Lichts wird gleich seyn der am Glase reflectirten, multiplicirt mit dem Quadrat der Tangente von β.

Diese Methode, welche vom theoretischen Gesichtspunkte auſserordentlich einfach ist, kann nur zu genauen Resultaten führen, wenn der Brechungsindex des Glases vollkommen bekannt ist, weil die Intensitäten I'^2 und J'^2 des von dieser Substanz reflectirten Lichts Functionen des Einfalls und des Brechungsindexes sind. Nun hat man zur Auffindung dieser letzteren Gröſse zwei Mittel: 1) die directe Bestimmung an einem Prisma und 2) die Messung des Polarisationswinkels i beim Glase, wo dann $tang\, i = n$. Unglücklicherweise haben diese beiden Methoden Resultate gegeben, die bedeutend von einander abweichen; und um zwischen beiden zu wählen, muſs man sich erinnern, daſs die vorstehenden Formeln nur angewandt werden können, wenn sie in allen Fällen richtig sind, und daſs, wenn sie für das beim Winkel des Polarisationsmaximums reflectirte Licht eine Intensität Null geben, sobald der Strahl winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, erfordert wird, daſs man habe $tang\, i = n$. Man muſs also zur Bestimmung des Indexes (n) eine Methode anwenden, welche die Formeln (1) verificirt. Ich bin bei der folgenden stehen geblieben.

Digitized by Google

Die zwei Formeln (1) führen zu einer dritten, die das Azimut A' des reflectirten Lichtes kennen lehrt, wenn der einfallende Strahl um 45° gegen die Einfallsebene polarisirt ist. Diese Formel ist:

$$tang\,A' = \frac{cos\,(1+r)}{cos\,(1-r)}$$

eine Relation, die offenbar durch denselben Werth von n verificirt wird, wie die vorhergehenden, weil sie eine Folgerung aus ihnen ist; und für den Werth des Brechungsindexes, welcher den beiden ersteren genügt, können wir denjenigen bestimmen, welcher der dritten genügt. So erhalten wir successive:

$$tang\,A' = \frac{cos\,(1+r)}{cos\,(1-r)} = \frac{1 - tang\,i\,tang\,r}{1 + tang\,i\,tang\,r}$$

$$tang\,i\,tang\,r = \frac{1 - tang\,A'}{1 + tang\,A'} = tang\,(45^\circ - A')$$

$$tang\,r = \frac{tang\,(45^\circ - A')}{tang\,i} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Während also das Polarisationsazimut des einfallenden Lichts 45° und die Incidenz i ist, werden wir A' messen, r mittelst der Formel (5) und n mittelst der Relation $n = \frac{sin\,i}{sin\,r}$ berechnen. Da der Werth von i willkührlich ist, so können wir viele Incidenzen anwenden, aus jedem Versuch den Werth von n bestimmen und aus allen das Mittel nehmen. So ergaben sich:

Incidenzen	Werthe von n:
80°	1,4909
70	1,4932
60	1,4896
50	1,4949
40	1,4900
30	1,4965
Mittel	1,4925

Das Resultat weicht nur um drei Hundertel von dem ab, welches directe Versuche für den Refractionsindex des Glases lieferten. Wir werden es bei der Rechnung nach

den Formeln (1) anwenden, dann wird der Erfolg unſerer Verſuche von der Sorgfalt abhängen, mit welcher wir die Winkel i und β meſſen werden. Ich will hierüber etwas ins Einzelne gehen.

Ein horizontaler Kreis auf einem kupfernen Fuſs trägt, auf dem Kreiſe befeſtigt, ein inwendig geſchwärztes Rohr, das beſtändig auf den Mittelpunkt gerichtet, und an beiden Enden mit Fadenkreuzen, zur Fixirung der Richtung des einfallenden Strahls, verſehen iſt. Dieſes Rohr trägt zur Polariſation des Lichts ein Nicol'ſches Prisma, deſſen Richtung durch einen am Rohr befeſtigten getheilten Kreis beſtimmt wird. Um den horizontalen Kreis dreht ſich ein zweites Rohr, welches den reflectirten Strahl auffängt. Man miſst deſſen Verſchiebungen mittelſt eines Nonius, zerlegt das reflectirte Licht durch ein an ſeinem Ende angebrachtes doppeltbrechendes Prisma und beſtimmt die Lage des Hauptſchnitts dieſes Prismas mittelſt eines zweiten getheilten Kreiſes, der am beweglichen Rohre ſitzt. Im Mittelpunkt des horizontalen Kreiſes befindet ſich ein Tiſch, auf welchem man die Doppelplatte ſenkrecht in ſolcher Lage befeſtigt, daſs die Trennungslinie beider Subſtanzen gerade auf dem Mittelpunkt des Apparates ſteht. Der Tiſch iſt um einen Mittelpunkt drehbar, und eine Alhidade, die auf dem Limbus des getheilten Kreiſes herumläuft, erlaubt, ſeine Neigungen zu verändern und zu meſſen.

Da die Senkrechtheit der Doppelplatte eine unumgängliche Bedingung iſt, ſo ſuchte man dieſe zuvörderſt durch die bekannten Mittel herzuſtellen, dann prüfte man ſie, indem man das Licht in den Hauptazimuten polariſirte, und ſich dabei verſicherte, daſs die Polariſation nach der Reflexion am Metall geradlinig blieb und das Azimut ſich nicht änderte, wenn man die reflectirende Fläche um 180° drehte. Ueberdieſs machte man immer zwei Reihen von Beobachtungen, indem man die reflectirende Fläche erſtlich rechts und dann links vom Beob-

Digitized by Google

achter stellte, um die Fehler zu berichtigen, die aus einem Mangel an Senkrechtheit der Doppelplatte entspringen.

Nachdem die Incidenzen sowohl durch die Ablenkung des reflectirten Strahls als durch die Verstellung der Platte gemessen worden, bestimmt sich der Winkel β mit groſser Genauigkeit. Man weiſs nämlich, mit welcher Leichtigkeit das Auge die Gleichheit zweier Lichter von gleicher Farbe erkennt; ich habe mich überzeugt, daſs man bei ein wenig Uebung die Empfindlichkeit dieses Organs wahrhaftig merkwürdig macht. Die Resultate der unter gleichen Umständen angestellten Versuche weichen niemals um mehr als 15 Minuten ab, und wenn man gröſsere Fehler begeht, so geschieht es, weil sich die Merkpunkte, sowohl für die Messung der Incidenzen als für die Lage der Polarisationsebenen, nicht immer mit eben so groſser Genauigkeit erhalten lassen. Bemerken wir überdieſs, daſs es in jedem Quadranten zwei Winkel β und $90° - \beta$ giebt, welche das ordentliche oder auſserordentliche Bild des Metalls gleich machen dem auſserordentlichen oder ordentlichen des Glases. Jede Bestimmung geht also aus acht Beobachtungen hervor.

Zu allen meinen Versuchen gebrauchte ich das Licht einer Carcel'schen Lampe, die im Inneren einer geschlossenen Büchse stand, im Brennpunkt einer Linse, welche die Strahlen parallel machte. Auf diese Weise wurden die Operationen in der vollsten Dunkelheit ausgeführt. Das angewandte Licht war sehr intensiv, immer sich selber gleich. Es wurde homogen gemacht durch ein mit vieler Sorgfalt gewähltes, sehr dickes rothes Glas, welches einerseits so viel Licht durchlieſs, daſs die Beobachtungen sich leicht anstellen lieſsen, andrerseits es aber so schwächte, daſs das Nicol'sche Prisma eine vollständige Polarisation gab.

In der folgenden Tafel sind die mit wohlpolirten Platten von Stahl und Spiegelmetall ausgeführten Versuche zusammengestellt. Man wird bemerken, daſs die

Digitized by Google

Intensitäten des nach der Einfallsebene polarisirten reflectirten Lichts sich wenig ändern und sie allmälig abnehmen von der Incidenz 90° bis zu der 0°.

Wenn dagegen das Licht im Azimut 90° polarisirt ist, nehmen die Intensitäten ab von der streifenden Incidenz bis zum Winkel des Polarisationsmaximums, und darauf nehmen sie zu bis zur senkrechten Incidenz.

Stahl. — Quadratwurzel aus den Intensitäten des in der Einfallsebene reflectirten Lichts: $i_{,} = 76 \quad \varepsilon = 57,53$.

Einfalls-winkel.	Beobachtete Winkel β.	Quadratwurzel der Intensitäten beobachtet.	Quadratwurzel der Intensitäten berechnet.	Unterschiede.
85°	48° 2'	0,951	0,977	— 0,026
80	52 9	0,945	0,954	— 0,009
75	56 15	0,946	0,932	+ 0,014
70	59 40	0,915	0,910	+ 0,005
65	61 56	0,898	0,892	+ 0,006
60	64 52	0,897	0,874	+ 0,023
55	66 45	0,869	0,856	+ 0,013
50	67 57	0,828	0,842	— 0,014
45	69 37	0,818	0,827	— 0,009
40	71 7	0,780	0,815	— 0,035
35	72 10	0,800	0,804	— 0,004
30	73 3	0,790	0,795	— 0,005
25	73 56	0,791	0,787	+ 0,004
20	74 26	0,780	0,781	— 0,001

Stahl. — Quadratwurzel aus den Intensitäten des in einer auf der Einfallsebene winkelrechten Ebene reflectirten Lichts.

85°	45° 42'	0,719	0,709	+ 0,010
80	48 21	0,547	0,583	— 0,037
75	60 00	0,566	0,563	+ 0,003
70	69 15	0,545	0,569	— 0,024
65	79 44	0,627	0,599	+ 0,028
60	86 10	0,630	0,630	0,000
55				
50	85 4	0,666	0,681	— 0,015
45	82 22	0,689	0,701	— 0,012
40	80 32	0,688	0,717	— 0,029
35	79 10	0,741	0,730	+ 0,011
30	78 10	0,760	0,742	+ 0,018
25	77 20	0,769	0,751	+ 0,018
20	76 36	0,770	0,758	+ 0,012

Digitized by Google

Spiegelmetall. — **Quadratwurzel aus den Intensitäten des in der Einfallsebene reflectirten Lichts: $i_{,} = 75, 50$ $\varepsilon = 64$.**

Einfalls-winkel.	Beobachtete Winkel β.		Quadratwurzel der Intensitäten beobachtet.	berechnet.	Unterschiede.
86°	47°	38′	0,968	0,984	— 0,016
84	48	53	0,929	0,976	— 0,047
82	50	13	0,937	0,969	— 0,032
80	52	33	0,959	0,961	— 0,002
78	53	47	0,944	0,954	— 0,010
76	55	35	0,950	0,948	+ 0,002
74	56	50	0,940	0,934	+ 0,006
72	57	58	0,926	0,932	— 0,006
70	58	51	0,869	0,925	— 0,056
68	60	13	0,906	0,919	— 0,013
66	62	40	0,950	0,912	+ 0,038
64	63	39	0,940	0,905	+ 0,035
62	64	10	0,914	0,900	+ 0,014
60	64	41	0,890	0,894	— 0,004
58	65	46	0,902	0,888	+ 0,014
56	66	8	0,850	0,882	— 0,032
54	66	53	0,859	0,876	— 0,017
52	68	16	0,877	0,872	+ 0,005
50	69	9	0,880	0,866	+ 0,014
48	69	40	0,869	0,861	+ 0,008
46	70	23	0,869	0,857	+ 0,012
44	71	8	0,873	0,852	+ 0,021
42	71	53	0,841	0,848	— 0,007
40	72	0	0,832	0,844	— 0,012
38	72	40	0,833	0,840	— 0,007
36	73	3	0,823	0,836	— 0,013
34	73	5	0,835	0,833	+ 0,002
32	73	48	0,850	0,830	+ 0,020
30	74	5	0,845	0,827	+ 0,018
28	75	18	0,837	0,824	+ 0,013
26	74	55	0,854	0,821	+ 0,033
24	75	27	0,868	0,819	+ 0,049
22	75	32	0,857	0,816	+ 0,041
20	75	45	0,858	0,814	+ 0,044

Spiegelmetall. — **Quadratwurzel aus den Intensitäten des winkelrecht auf der Einfallsebene reflectirten Lichts.**

86°	46°	36′	0,754	0,800	— 0,046
84	47	33	0,715	0,736	— 0,021
82	50	58	0,697	0,683	+ 0,014
80	53	18	0,655	0,651	+ 0,004
78	56	32	0,631	0,633	— 0,002
76	60	6	0,623	0,626	— 0,003
74	64	47	0,666	0,626	+ 0,040

Digitized by Google

Einfalls-winkel.	Beobachtete Winkel β.	Quadratwurzel der Intensitäten beobachtet.	berechnet.	Unterschiede.
72°	69° 18′	0,678	0,630	+ 0,048
70	73 18	0,688	0,637	+ 0,051
68	76 3	0,666	0,646	+ 0,020
66	79 44	0,654	0,659	— 0,005
64	82 21	0,729	0,666	+ 0,063
62	84 24	0,701	0,677	+ 0,024
50	85 59	0,819	0,730	+ 0,089
48	85 11	0,760	0,737	+ 0,023
46	83 52	0,801	0,744	+ 0,057
44	82 15	0,723	0,749	— 0,026
42	82 0	0,747	0,755	— 0,008
40	81 46	0,793	0,761	+ 0,032
38	80 23	0,764	0,765	— 0,001
36	80 34	0,794	0,770	+ 0,024
34	80 12	0,824	0,774	+ 0,050
32	79 56	0,860	0,778	+ 0,082
30	79 7	0,828	0,781	+ 0,047

In der vierten Spalte der vorstehenden Tafel findet man die berechneten Zahlen, welche die beobachteten mit genügender Treue wiedergeben. Sie werden von den Formeln des Hrn. Cauchy geliefert. Dieser Mathematiker hat, geleitet von den Versuchen des Hrn. Brewster, das Problem der Reflexion an Metallen theoretisch behandelt und, wie wir bald sehen werden, vollständig gelöst. Da seine Arbeiten über diesen Gegenstand noch nicht ganz veröffentlicht sind, so glauben wir, hier eine kurze Uebersicht seiner theoretischen Ideen und der aus denselben abgeleiteten Formeln geben zu müssen.

Wenn das Licht aus dem Vacuo in einen homogenen Körper übergeht, so giebt es zwischen den Längen der einfallenden und gebrochenen Wellen ein Verhältniſs, welches man *Refractionsindex* (Brechverhältniſs) genannt hat, und welches bei einem homogenen und nicht krystallinischen Körper constant ist. Wenn der Körper durchsichtig ist, so ist der Refractionsindex die einzige charakterisirende Zahl desselben, und die Kenntniſs dieser Constanten reicht hin, um für alle Fälle die

Wirkung des Körpers auf das Licht zu berechnen. Wenn aber der Körper, obgleich homogen, opak ist, so reicht jene Zahl nicht aus, und die Abänderung, welche der Strahl erleidet, wird durch einen neuen Vorgang verwickelter. Die Körper sind nämlich niemals ganz undurchsichtig, sie lassen also, wenn sie vom Licht getroffen werden, gebrochene Wellen entstehen, nur dringen diese sehr wenig ein. Man kann also annehmen, daſs sie sich rasch abschwächen, so daſs sie schon in einem gegen die Wellenlänge sehr kleinen Abstand unmerklich werden; und indem Hr. Cauchy diese Schwächung durch eine zweite Zahl, den Auslöschungscoëfficienten, repräsentirt, scheint er das Ergebniſs der Erfahrung einfach in Princip übersetzt zu haben und von der rationellsten Grundlage ausgegangen zu seyn.

Die Formeln also, welche die Reflexion und Refraction des Lichts in durchsichtigen Körpern ausdrücken, hängen von einer einzigen Gröſse, dem Refractionsindex, ab, während die für opake Körper deren zwei besitzen, den Refractionsindex und den Auslöschungscoëfficient.

Um die beiden Constanten, welche die Wirkung eines Metalles ausdrücken, aus den Beobachtungen herzuleiten, genügt es: 1) den Winkel des Polarisationsmaximums ($i_{,}$) zu bestimmen, und 2) bei dieser Incidenz das Verhältniſs $\frac{I}{J}$ der Quadratwurzeln aus den reflectirten, in der Einfallsebene und der darauf senkrechten Ebene polarisirten Lichtintensitäten aufzusuchen, und den Winkel, dessen Tangente diesem Verhältnisse gleich ist, zu berechnen. Dieser Winkel, den wir A nennen werden, ist das zweite Datum.

Die Formeln des Hrn. Cauchy sind nun folgende: J^2 und I^2 repräsentiren die Intensitäten des reflectirten, in der Einfallsebene und in der darauf winkelrechten Ebene polarisirten Lichts, dabei die des einfallenden Strahls als Einheit genommen:

I^2

$$I^2 = tang\,(\varphi - 45^0) \quad J^2 = tang\,(\chi - 45^0) \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

φ und χ sind gegeben durch die Formeln:

$$\left.\begin{array}{l} cot\,\varphi = cos\,(2\,\varepsilon - u)\,sin\left(2\,arc.tang.\dfrac{U}{\vartheta^2\,cos\,i}\right) \\ cos\,\chi = cos\,u\,sin\left(2\,arc.tang\,\dfrac{cos\,i}{U}\right) \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad (7)$$

i stellt den Einfallswinkel vor; ϑ und ε sind zwei Constanten; U und u sind Variable, die man in Functionen von i, ϑ und ε durch folgende Relationen berechnet:

$$\left.\begin{array}{l} cos\,(2\,u - \varepsilon) = cot\,\varepsilon\,cos.\left(2\,arc.tang\,\dfrac{sin\,i}{\vartheta}\right) \\ \vartheta^2\,sin\,2\,\varepsilon = U^2\,sin\,2\,u \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Die Constanten ϑ und ε bestimmen sie folgendermaſsen. Unter dem Winkel des Polarisationsmaximum nehmen die Variablen u, U die besonderen Werthe an;

$$u = 2\,A \quad , \quad U = sin\,i_1\,tang\,i_1 .$$

Man ersetzt u und U in den Formeln (8) durch diese besonderen Werthe, und zieht daraus ε und ϑ. Sind somit diese Gröſsen einmal gefunden, so erhält man u und U aus den Formeln (8), φ und χ aus den Relationen (7) und I^2 und J^2 aus den Gleichungen (6).

Bei Anwendung dieser Formeln findet man, daſs $\dfrac{1}{\vartheta}$ immer eine so kleine Gröſse ist, daſs $\dfrac{1}{\vartheta^2}$ in den Rechnungen vernachlässigt werden darf. Wir haben uns immer mit diesem Grade von Annäherung begnügt, nachdem wir uns überzeugt, daſs die daraus entstehenden Fehler kleiner sind als die der Versuche.

Welche Sorgfalt man auch auf die Ausführung der Versuche verwende, so scheint es mir doch unmöglich, eine vollständigere Uebereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung zu erreichen, als sie unsere Tafel zeigen. Die Bestimmungen führen nämlich mehre Fehlerquellen mit sich, von denen einige sehr stark sind, sich nicht vollständig vermeiden lassen und bei der geringsten Nachlässigkeit ungeheuer werden. Ueberdieſs dienen zur Be-

Digitized by Google

rechnung der theoretischen Formeln zwei Constanten, die durch den Versuch gegeben werden, und nothwendig mit Fehlern behaftet sind. Es ist also schwer, eine vollkommnere experimentelle Bestätigung zu erlangen, als sie unsere Tafeln darthun.

II. Messung des Phasenunterschiedes.

Wir haben uns nun mit der zweiten Abänderung zu beschäftigen, welche das Licht bei Reflexion an Metallen erleidet: ich meine die Verschiebung der Schwingungsknoten.

Ich bin mit dieser Aufgabe in einem besonderen Falle beschäftigt gewesen, und meine, der Akademie am 13. August 1846 überreichten Versuche beweisen [1]): 1) daſs der winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirte Strahl immer gegen den in dieser Ebene polarisirten zurücksteht; 2) daſs der Phasenunterschied bei der Incidenz 0° verschwindet, daſs er von da bis zur Incidenz 90° fortwährend zunimmt, und bei letzterer gleich $\frac{1}{2}\lambda$ wird, während er beim Winkel des Polarisationsmaximum $\frac{1}{4}\lambda$ ist.

Dieſs Gesetz der Phasenveränderung ergiebt sich aus Versuchen mit Metalloxyden, durch ein Verfahren, welches bei Metallen nicht anwendbar ist. Da aber diese Oxyde und die Metalle, nach den Versuchen des Hrn. Brewster, in einerlei Weise auf das Licht wirken, so ist unzweifelhaft, daſs der Phasenunterschied bei Reflexion von Metallen zwischen jenen Incidenzgränzen in demselben Sinne verändern wird. Wir werden also annehmen, daſs bei den Metallen der Phasenunterschied zwischen den reflectirten Strahlen, die in den Hauptazimuten polarisirt sind, Null sey für die senkrechte Incidenz und fortdauernd mit der Neigung des Strahls gegen die Oberfläche zunehme. Diese Verallgemeinerung einer für einen besonderen Fall nachgewiesenen Thatsache wird übrigens

1) Annal. Ergänzungsbd. II, S. 299.

Digitized by Google

durch die von Hrn. de Sénarmont gefundenen Resultate gerechtfertigt [1]).

Von diesem Gesetze ausgehend, will ich den Werth des Phasenunterschiedes für bestimmte Incidenzen durch eine neue Methode aufsuchen. Diese Methode hat den Vorzug, daſs man zur Abänderung der Phasen keines Zwischengliedes bedarf, und deshalb vor den Einwürfen gesichert ist, welche die bisher angewandten Verfahrungsarten zulieſsen. Ich verfahre so:

Wenn ein in irgend einer Ebene polarisirtes Lichtbündel auf einen Metallspiegel geleitet wird, so kann man ihn immer betrachten als bestehend aus zwei Strahlen von gleicher Phase, polarisirt in den Azimuten 0° und 90°, Azimuten, welche durch die Reflexion nicht verändert werden. Läſst man sie abermals und beliebig oft an Spiegeln von gleicher Substanz und paralleler Lage mit dem ersten unter gleichem Winkel und in gleicher Einfallsebene reflectiren, so erleiden sie jedesmal dieselbe Einwirkung von Seiten des Metalls, und nach 2, 3, 4, . . . *m* Reflexionen besitzen sie Phasenunterschiede, die 2, 3, . . *m* Mal gröſser sind als der, welcher ihnen eine einzige Reflexion eingeprägt hatte. Wenn man also die ersteren erhalten kann, so braucht man sie nur durch die Anzahl der Reflexionen zu dividiren, um die zweite zu erhalten. Diese Bestimmung wird in gewissen Fällen sehr einfach seyn.

In der That wissen wir durch die Versuche des Hrn. Brewster, daſs der Strahl durch mehrmalige Reflexion an Metall eine im Allgemeinen elliptische Polarisation erlangt, die aber für gewisse besondere Werthe des Einfallswinkels geradlinig wird. Diese Werthe sind nach der Anzahl der Reflexionen verschieden, und der Versuch zeigt, daſs es für zwei Reflexionen einen giebt, für drei Reflexionen zwei, und im Allgemeinen so viel als

1) Annal. Ergänzbd. I. S. 451.

Digitized by Google

die um eins verringerte Anzahl der Reflexionen. Wie es scheint, hat Hr. **Brewster** diese Relation zwischen der Zahl von Reflexionen und der der Winkel der wiederhergestellten Polarisation nicht bemerkt. Sie ist, wie wir bald sehen werden, eine recht einfache Folge der Art, wie der Phasenunterschied variirt; für den Augenblick wollen wir uns begnügen, zu zeigen, welchen Nutzen wir daraus ziehen können.

Damit zwei unter sich rechtwinklig polarisirte Strahlen von verschiedener Phase bei ihrer Wiedervereinigung ein polarisirtes Bündel bilden können, muſs der Unterschied ihrer Phasen gleich seyn:

$$\frac{\lambda}{2} \text{ oder } 2\frac{\lambda}{2} \text{ oder } 3\frac{\lambda}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Wenn also nach einer gewissen Anzahl von Reflexionen an demselben Metalle und unter derselben Incidenz die Polarisation geradlinig erscheint, so beruht dieſs darauf, daſs der Phasenunterschied der beiden rechtwinklig polarisirten Strahlen einem Multiplum von halber Wellenlänge gleich geworden ist, und die ganze Aufgabe kommt auf die Aufsuchung dieses Multiplums zurück. Dieſs ist nun aber sehr leicht; wir wissen nämlich, daſs, nach einer einzigen Reflexion, der Phasenunterschied zunimmt von der Incidenz 0°, wo er Null ist, bis zu der von 90°. Für den nächsten Winkel an 0°, welcher die Polarisation nach m Reflexionen wiederherstellt, wird also der Phasenunterschied das kleinste Multiplum von $\frac{1}{2}\lambda$ seyn, für den nächsten: $2 . \frac{1}{2}\lambda$, und so fort bis zu dem nächsten an 90°, wo er $(m-1) . \frac{1}{2}\lambda$ seyn wird. Somit wird man für eine einzige Reflexion, unter denselben Winkeln, die folgenden Werthe von Phasenunterschieden haben.

$$\frac{1}{m}.\frac{\lambda}{2}, \quad \frac{2}{m}.\frac{\lambda}{2}, \quad \frac{3}{m}.\frac{\lambda}{2}, \quad . \, . \, . \quad \frac{m-1}{m}.\frac{\lambda}{2}$$

Die Phasenunterschiede werden also ausgedrückt seyn in Functionen von $\frac{\lambda}{2}$ durch einen Bruch $\frac{n}{m}$, worin n die Werthe aller ganzen Zahlen von 1 bis $(m-1)$ annimmt,

und m die Anzahl der Reflexionen bezeichnet. Daraus folgt, daſs wenn n und m variiren, derselbe Werth des Bruchs sich oft für verschiedene Zahlen von Reflexionen wiederholen wird; so wird man nach 2, 4, 6, 8 Reflexionen die Phasendifferenzen $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{6}$, $\frac{4}{8}$ haben, und folglich werden die gefundenen Winkel der wiederhergestellten Polarisation ziemlich gleich seyn müssen. Wir halten somit sehr viele Verificationen.

Man sieht, daſs es hinreicht, die Incidenz der wiederhergestellten Polarisation zu messen. Was den Phasenunterschied betrifft, so miſst er sich nicht, ist aber bekannt, wenn der reflectirte Strahl sich polarisirt erweist, und man die Anzahl der Reflexionen gezählt hat. Ueberdieſs hat man zu bemerken, daſs das Polarisationsazimut des einfallenden Strahls irgend eins ist; die beobachteten Incidenzen ändern sich nicht, wenn dasselbe sich ändert, und man stellt das Nicol'sche Prisma wie man will. Erwägt man, daſs es immer schwierig ist, das Azimut des einfallenden Strahls mit Genauigkeit zu messen, und daſs im Allgemeinen die geringste Aenderung in seinem Werthe die zu messenden Resultate ändert, so wird man einem Verfahren einige Wichtigkeit beilegen, welches dieses Element unbestimmt läſst und keine andere Bedingung wesentlich erfordert als den Parallelismus der Platten, und nur das Eine miſst: den Einfallswinkel der wiederhergestellten Polarisation. Diese practische Einfachheit wird uns zu Resultaten von groſser Genauigkeit führen.

Um die vielfachen Reflexionen zu erhalten, braucht man nur zwei Spiegel aus der Substanz, die man untersuchen will, parallel einander gegenüber zu stellen, und auf einen derselben das Licht fallen zu lassen; dann wird es zum zweiten reflectirt, kehrt nach dem ersten zurück und so fort etc. Die Anzahl der beobachteten Reflexionen hängt nur von dem Abstande der Platten ab, der deshalb beliebig zu verändern seyn muſs. Die

Einrichtung, die mir die bequemste zu seyn schien, ist folgende: Die beiden Spiegel sind mit Wachs befestigt an zwei parallelen und verticalen Messingplatten, von denen die eine fest ist, die andere aber durch eine Mikrometerschraube parallel mit sich selbst verschoben werden kann. Vom Parallelismus der Spiegel überzeugt man sich, indem man sie in Contact bringt und nachsieht, ob alle Kanten recht genau zusammenfallen. Dieser kleine Apparat ist im Mittelpunkt des kleinen Kreises angebracht, dessen ich mich schon bedient habe. Er ist so aufgestellt, daſs die polirte Oberfläche des unbeweglichen Spiegels durch den Mittelpunkt des Kreises geht. Nach mehrmaliger Reflexion zwischen den beiden Spiegeln entweicht der Strahl in die Luft; allein dann geht seine verlängerte Richtung nicht mehr durch den Mittelpunkt des Kreises, und er kann also nicht mehr die bewegliche Röhre im Sinne ihrer Axe durchstreichen. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, habe ich der oben erwähnten Röhre eine horizontale Drehbarkeit um ihr Gestell gegeben; dann kann man ihr jedesmal die Richtung des zuletzt reflectirten Strahls verleihen. Stehen die Platten hinreichend auseinander, so gewahrt man die Bilder von einer oder zwei Reflexionen, und diese Bilder verschwinden, wenn man die Spiegel einander nähert: man sieht successive die, welche aus zahlreicheren Reflexionen entspringen und kann sie leicht zählen.

Wenn das einfallende Licht weiſs ist, wird die Polarisation niemals vollkommen wiederhergestellt. Die Ungleichheit der Wirkung, welche ein Metall auf die verschiedenen einfachen Strahlen des Spectrums ausübt, macht die Bilder farbig, und man kann nur beobachten, bei welcher Incidenz das auſserordentliche Bild das Minimum seiner Helligkeit besitze; allein man bemerkt, daſs dieses Minimum genau der Uebergangsfarbe zwischen dunkelblau und dunkelpurpur entspricht. Bei den Versuchen mit plattirtem Silber habe ich mich begnügt, diese Ueber-

Digitized by Google

gangsfarbe zu beobachten, und für den Winkel der wiederhergestellten Polarisation denjenigen zu nehmen, bei welchem diese Farbe im auſserordentlichen Bilde ein Minimum ist. Die Erfahrung zeigt übrigens, daſs sie mit der Richtung des Hauptschnitts des Zerlegers so rasch im Tone variirt, und für die gesuchte Incidenz eine so groſse Abnahme der Intensität erleidet, daſs die Bestimmungen nichts von ihrer Schärfe verlieren, selbst wenn die Anzahl der Reflexionen sehr groſs ist. Ueberdieſs habe ich an Spiegeln von Stahl, Kupfer und Zink Versuche mit rothem Glase gemacht, deren Resultate in folgenden Tafeln enthalten sind. Man wird bemerken, daſs die Phasenunterschiede in ihrer Veränderung genau dem Gesetze folgen, welches wir schon für die Oxyde aufgefunden und vorhin angegeben haben.

Plattirtes Silber. — Phasenunterschiede:
$i_{,} = 71{,}40$ $A = 36$.

$\frac{n}{m}$	Einfallswinkel der wiederhergestellten Polarisation. beobacht.	mittlere.	Phasenunterschiede, beobacht.	berechnet.	Unterschiede.
$\frac{5}{6}$	84° 30′	84° 30′	0,833	0,829	+0,004
$\frac{8}{10}$	83 50	83 50	0,800	0,809	−0,009
$\frac{4}{5}$	83 50				
$\frac{3}{4}$	81 37	81 37	0,750	0,746	+0,004
$\frac{5}{7}$	81 30	81 20	0,714	0,736	−0,022
$\frac{5}{7}$	81 10				
$\frac{7}{10}$	80 20	80 20	0,700	0,709	−0,009
$\frac{2}{3}$	79 0				
$\frac{6}{9}$	79 0	79 2	0,666	0,674	−0,008
$\frac{4}{6}$	79 10				
$\frac{5}{8}$	77 38	77 38	0,626	0,637	−0,011
$\frac{3}{5}$	77 0	76 42	0,600	0,614	−0,014
$\frac{6}{10}$	76 25				
$\frac{4}{7}$	75 57	75 57	0,572	0,595	−0,023
$\frac{5}{9}$	74 45	74 45	0,575	0,567	+0,008
$\frac{6}{11}$	74 5	74 5	0,545	0,552	−0,007
$\frac{1}{2}$	72 10				
$\frac{2}{4}$	72 0				
$\frac{3}{6}$	71 25	72 0	0,500	0,500	
$\frac{4}{8}$	72 15				
$\frac{5}{10}$	72 15				
$\frac{6}{12}$	72 0				

$\frac{n}{m}$	Einfallswinkel der wiederhergestellten Polarisation.		Phasenunterschiede,		Unterschiede.
	beobacht.	mittlere.	beobacht.	berechnet.	
$\frac{5}{11}$	70° 30′	70° 30′	0,454	0,476	— 0,022
$\frac{4}{9}$	69 15	69 15	0,444	0,451	— 0,007
$\frac{3}{7}$	69 0	69 0	0,429	0,447	— 0,018
$\frac{5}{12}$	67 25	67 25	0,416	0,423	— 0,007
$\frac{2}{5}$	66 38	66 29	0,400	0,402	— 0,002
$\frac{4}{10}$	66 20				
$\frac{3}{8}$	64 40	64 40	0,375	0,375	
$\frac{4}{11}$	64 0	64 0	0,363	0,362	+ 0,001
$\frac{1}{3}$	63 0	62 31	0,333	0,334	— 0,001
$\frac{2}{6}$	62 20				
$\frac{3}{9}$	62 20				
$\frac{4}{13}$	62 25				
$\frac{3}{10}$	60 10	60 10	0,300	0,307	— 0,007
$\frac{2}{7}$	59 35	59 35	0,286	0,298	— 0,012
$\frac{3}{11}$	57 40	57 40	0,272	0,277	— 0,005
$\frac{1}{4}$	55 20	55 26	0,250	0,250	
$\frac{2}{8}$	55 45				
$\frac{3}{12}$	55 15				
$\frac{2}{9}$	53 30	53 30	0,222	0,224	— 0,002
$\frac{1}{5}$	50 30	50 37	0,200	0,200	
$\frac{2}{10}$	50 45				
$\frac{2}{11}$	48 0	48 0	0,181	0,177	+ 0,004
$\frac{1}{6}$	46 35	46 36	0,180	0,165	— 0,015
$\frac{2}{12}$	46 38				
$\frac{1}{7}$	43 50	43 50	0,143	0,143	
$\frac{1}{8}$	41 15	41 15	0,125	0,125	
$\frac{1}{9}$	39 10	39 10	0,111	0,112	— 0,001
$\frac{1}{10}$	37 10	37 10	0,100	0,100	
$\frac{1}{11}$	35 40	35 40	0,091	0,091	
$\frac{1}{12}$	35 15	34 15	0,080	0,082	— 0,002

S t a h l.

$i_{,} = 76$ $\varepsilon = 57°,53$.

Einfallswinkel der wiederhergestellten Polarisation.	Phasenunterschiede,		Unterschiede.
	beobachtet.	berechnet.	
84° 0′	0,800	0,796	+ 0,004
83 20	0,750	0,753	— 0,003
80 46	0,666	0,641	+ 0,025
79 0	0,600	0,596	+ 0,004
76 0	0,500	0,500	
73 0	0,429	0,419	+ 0,010

Einfallswinkel der wiederhergestellten Polarisation.	Phasenunterschiede, beobachtet.	berechnet.	Unterschiede.
71° 50′	0,400	0,392	+0,008
70 39	0,375	0,365	+0,010
68 16	0,333	0,320	+0,013
65 25	0,286	0,271	+0,015
63 38	0,250	0,250	
61 39	0,222	0,226	−0,004
58 37	0,200	0,194	+0,006
55 0	0,180	0,162	+0,018
51 0	0,143	0,133	+0,010
49 57	0,125	0,127	−0,002
46 24	0,111	0,105	+0,006
45 27	0,100	0,100	
41 53	0,091	0,083	+0,008
41 13	0,080	0,080	
38 59	0,071	0,071	

Die Theorie des Hrn. Cauchy lehrt nicht nur die Intensitäten des reflectirten Lichtes kennen, sondern beweist auch, daſs zwei Strahlen, die vor der Incidenz gleiche Phasen haben und respective in den Azimuten 0° und 90° polarisirt sind, nach der Reflexion an dem Metall einen nach der Incidenz verschiedenen Phasenunterschied δ besitzen, den die Formel ausdrückt:

$$tang\ \delta = tang\ 2\omega\ sin\ u \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

worin ω sich mittelst der Bedingungsgleichung berechnet

$$tang\ \omega = \frac{U\ cos\ i}{sin^2\ i}.$$

Mittelst dieser Formel sind die berechneten Zahlen der vorstehenden Tafel erhalten, und die fast vollständige Uebereinstimmung derselben mit den beobachteten läſst keinen Zweifel an der Richtigkeit der Formeln des gelehrten Mathematikers übrig. Um besser begreiflich zu machen, daſs die Uebereinstimmung so vollkommen wie möglich ist, bemerken wir, daſs in der Tafel über das Silber überall, wo die Brüche $\frac{n}{m}$ gleiche Werthe haben, die ihnen entsprechenden Incidenzen der wiederhergestell-

Digitized by Google

ten Polarisation unter sich nur um sehr kleine, oft nichtssagende und immer unter 30′ bleibende Gröſsen abweichen. Diese Unterschiede geben uns gleichsam das Maaſs der Fehler, die man bei der Bestimmung der Winkel begehen kann; und wenn ich hinzufüge, daſs die Zahlen der Tafel das Resultat dreier Reihen von Versuchen sind, bei denen jedesmal das Azimut des einfallenden Strahls verändert wurde, so wird man überzeugt seyn, daſs diese Fehlergränze selten erreicht wurde. Andererseits führt ein Fehler von 30 Minuten in der Bestimmung des Winkels nur einen von 0,01 in dem Phasenunterschiede nach sich; wir können also in der Bestimmung des letzteren 0,01 als wahrscheinliche Fehlergränze annehmen. Untersucht man in vorstehenden Tafeln die Kolumne der Unterschiede, so findet man, daſs es unter mehr als 50 Beobachtungen nur drei giebt, die einen Unterschied von 0,08 zeigen, 11 erreichen die Zahl 0,01, und unter den übrigen sind viele bis auf die Tausendstel identisch. Der Unterschied zwischen Rechnung und Beobachtung beschränkt sich also auf anerkannt mögliche Beobachtungsfehler.

Zur Zeit, als ich diese Versuche machte, kannte ich die Formeln des Herrn Cauchy noch nicht, und bei Ueberreichung meiner Resultate an die Akademie suchte ich sie durch eine empirische Formel darzustellen, die, obwohl wesentlich verschieden von der des Hrn. Cauchy, doch nahe dieselben Zahlenwerthe liefert. Da sie sehr einfach ist und mit Nutzen zu einem approximativen Calcül angewendet werden kann, so will ich sie hier herstellen. Man setzt:

$$tang\, i_{,} = n \text{ und } sin\, i = n\, sin\, r\,,$$

und berechnet darauf die Relation:

$$tang\, A' = \frac{cos\,(i + r)}{cos\,(i - r}.$$

Der Ausdruck $(90^0 - 2\,A')$ repräsentirt den Phasenunterschied oder δ. Er ist für *Silber* und *Stahl* genau gültig, und stellt auch mit sehr genügender Annähe-

rung die folgenden mit zwei Zinkplatten ausgeführten Versuche dar. Diese Platten hatten zu den beiden Versuchsreihen eine verschiedene Politur erhalten, was alle Resultate numerisch änderte, aber nicht das Gesetz derselben.

Zink. — **Erste Reihe:** $i_{,} = 77$.

Incidenzen.	Phasenunterschiede, beobachtet.	Phasenunterschiede, berechnet.	Unterschiede.
87° 5′	0,800	0,865	— 0,065
84 10	0,750	0,740	+ 0,010
82 7	0,666	0,661	+ 0,005
80 7	0,600	0,592	+ 0,008
77 0	0,500	0,500	
72 34	0,400	0,397	+ 0,003
69 0	0,333	0,332	+ 0,001
66 0	0,286	0,288	— 0,002
62 45	0,250	0,246	+ 0,004
61 55	0,222	0,237	— 0,015
58 30	0,200	0,201	— 0,001
55 9	0,180	0,172	+ 0,008
52 15	0,143	0,149	— 0,006
49 57	0,125	0,134	— 0,009
47 10	0,111	0,117	— 0,006

Zink. — **Zweite Reihe:** $i_{,} = 79°,13$.

Incidenzen.	Phasenunterschiede, beobachtet.	Phasenunterschiede, berechnet.	Unterschiede.
87° 0′	0,833	0,829	+ 0,004
86 40	0,800	0,813	— 0,013
86 0	0,750	0,778	— 0,028
85 0	0,714	0,727	— 0,013
82 30	0,666	0,617	+ 0,049
81 40	0,572	0,584	— 0,012
82 20	0,600	0,611	— 0,011
82 15	0,626	0,608	+ 0,018
79 13	0,500	0,500	
76 40	0,429	0,433	— 0,004
76 0	0,444	0,412	+ 0,032
75 0	0,400	0,390	+ 0,010
73 5	0,375	0,349	+ 0,026
71 40	0,333	0,325	+ 0,008
69 35	0,286	0,288	— 0,002
69 5	0,300	0,281	+ 0,009
66 48	0,250	0,250	
66 7	0,222	0,241	— 0,019
60 49	0,200	0,215	— 0,015
58 28	0,180	0,166	+ 0,014
56 15	0,143	0,149	— 0,006
52 40	0,125	0,128	— 0,003
51 15	0,111	0,117	— 0,006
48 47	0,100	0,104	— 0,004

Digitized by Google

III. Zerlegung des elliptisch polarisirten Lichts.

Wie wir schon bemerkt haben, kann das Licht bei seiner Reflexion an Metall nur Aenderungen in den Amplituden und Verschiebungen in den Schwingungsknoten erleiden. Die Formeln des Hrn. Cauchy stellen die Gesetze dieser Abänderungen mit groſser Genauigkeit dar, umfassen alle Principien der Reflexion an Metallen. Es würde uns daher erlaubt seyn, dem Calcül die Sorge für die noch zu studirenden Phänomene voraussehen zu lassen, wenn sie nicht an sich interessant wären und wenn es nicht wichtig wäre, die Theorie in allen ihren Folgerungen zu prüfen. Zu dem Ende wollen wir damit beginnen, daſs wir ein in beliebiger Ebene polarisirtes Lichtbündel ein einziges Mal an einem Metall reflectiren lassen.

Aus den Versuchen des Hrn. Brewster weiſs man, daſs das Licht nach erlittener Einwirkung des Metalls aufhört polarisirt zu seyn, und zufolge der Theorie entspringt diese Depolarisation daraus, daſs die schwingenden Aethertheilchen eine Ellipse beschreiben. Wir wollen diese Folgerung experimentell nachzuweisen suchen.

Um eine elliptische Schwingungsbewegung vollständig zu definiren, ist es am einfachsten, die Richtung und das Längenverhältniſs ihrer Axen zu bestimmen. Wir können dieſs immer mittelst des Calcüls thun, können es aber auch mittelst des Experiments. Um dieſs zu zeigen, wollen wir beweisen:

1) daſs wenn man ein elliptisch polarisirtes Bündel auf ein doppelt brechendes Prisma fallen läſst, dessen Hauptschnitt parallel ist einer der Axen der Trajectorie, es in zwei Strahlen zerfällt, deren Phasen um eine Viertelwelle verschieden sind, und von denen der eine die möglich gröſste, und der andere die möglich kleinste Intensität besitzt;

2) daſs wenn der Hauptschnitt des Prisma's um 45° gegen die Richtung der Axen der Ellipse neigt, die Intensitäten beider Bilder gleich sind.

Digitized by Google

Sey $(90^0 - a)$ das Polarisationsazimut des einfallenden Strahls. Wir werden diesen Strahl ersetzen können durch zwei nach den Hauptazimuten gerichtete Schwingungen, deren Amplituden $sin\, a$ und $cos\, a$ sind.

Bei der Reflexion erleiden diese Schwingungen eine Veränderung in ihrer Phase und ihrer Amplitude, und wenn man nur den Phasenunterschied in Rechnung zieht, hat man, um die Coordinaten der schwingenden Theilchen nach der Reflexion auszudrücken, die folgenden Gleichungen:

$x = I\, cos\, a\, cos\, 2\pi \frac{t}{T}$ . . Schwing. in der Einfallsebene

$y = J\, cos\, a\, cos \left(2\pi \frac{t}{T} + \delta\right)$, dito winkelrecht darauf.

Zur Abkürzung setzen wir

$$\frac{I\, cos\, a}{J\, sin\, a} = cot\,.\,\alpha$$

und erhalten somit, bei Vernachlässigung eines constanten Factors

$$\left.\begin{array}{l} x = cos\, \alpha\, cos\, 2\pi \frac{t}{T} \\ y = sin\, \alpha\, cos \left(2\pi \frac{t}{T} + \delta\right) \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; (10)$$

Die Elimination der Zeit zwischen diesen beiden Gleichungen lehrt die der Trajectorie kennen, und diese Trajectorie ist eine Ellipse

$$\frac{y^2}{sin^2\, \alpha} + \frac{x^2}{cos^2\, \alpha} - \frac{2\, cos\, \delta}{sin\, \alpha\, cos\, \alpha}\, xy = sin^2\, \delta.$$

Um zugleich die Richtung und die Länge der Axen der Ellipse zu erhalten, brauchen wir nun die Coordinataxen zu ersetzen durch ein anderes System, welches mit dem, auf das sich die Gleichung bezieht, einen Winkel ω bildet, und dabei die Bedingung machen, daſs der Coëfficient von xy verschwinde. Dann erhalten wir die Gleichung der Ellipse:

$$(sin^2\, \alpha\, sin^2\, \omega + cos^2\, \alpha\, cos^2\, \omega + 2\, sin\, \alpha\, cos\, \alpha\, sin\, \omega\, cos\, \omega\, cos\, \delta)\, y^2$$
$$+ (cos^2\, \alpha\, sin^2\, \omega + sin^2\, \alpha\, cos^2\, \omega) - 2\, sin\, \alpha\, cos\, \alpha\, sin\, \omega\, cos\, \omega\, cos\, \delta)\, x^2$$
$$= \text{etc.}$$

Digitized by Google

und die Bedingungsgleichung:

$$tang\, 2\,\omega = tang\, 2\,\alpha \cos \delta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (11)$$

Diese letztere giebt uns die Richtung der beiden Axen auf einmal, und ersetzen wir ω durch seinen Werth in den Coëfficienten von y^2 und x^2, so erhalten wir Zahlen, von denen die erste der Axe der x und die zweite der Axe der y proportional ist.

Wir werden setzen:

$$\left.\begin{aligned} A^2 &= \sin^2 \alpha \sin^2 \omega + \cos^2 \alpha \cos^2 \omega \\ &\quad + \tfrac{1}{2} \sin 2\alpha \sin 2\omega \cos \delta;\ \text{Axe der } x \\ B^2 &= \sin^2 \alpha \cos^2 \omega + \cos^2 \alpha \sin^2 \omega \\ &\quad - \tfrac{1}{2} \sin 2\alpha \sin 2\omega \cos \delta;\ \text{Axe der } y \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Richten wir nun diesen elliptisch polarisirten Strahl, oder, was auf dasselbe zurückkommt, die beiden rechtwinkligen Schwingungen (10) auf ein doppelbrechendes Prisma, das mit der Einfallsebene $0x$ einen Winkel ω macht, so erhalten wir, nennen wir x' die Schwingung im Sinne des Hauptschnitts und y' die in winkelrechter Richtung:

$$x' = y \sin \omega + x \cos \omega$$
$$y' = y \cos \omega - x \sin \omega$$

Diese beiden Schwingungen lassen sich schreiben:

$$x' = A' \cos \left(2\pi \frac{t}{T} + \delta'\right)$$
$$y' = B' \cos \left(2\pi \frac{t}{T} + \delta''\right)$$

und man wird A', B', δ', δ'' nach der Fresnel'schen Regel erhalten können. Diese Gröſsen werden seyn:

$$\left.\begin{aligned} A'^2 &= \sin^2 \alpha \sin^2 \omega + \cos^2 \alpha \cos^2 \omega \\ &\quad + \tfrac{1}{2} \sin 2\alpha \sin 2\omega \cos \delta;\ \text{Schwing. in der Axe der } x \\ B'^2 &= \sin^2 \alpha \cos^2 \omega + \cos^2 \alpha \sin^2 \omega \\ &\quad - \tfrac{1}{2} \sin 2\alpha \sin 2\omega \cos \delta;\ \text{Schwing. in der Axe der } y \end{aligned}\right\} \quad (13)$$

und

$$tang\, \delta' = \frac{\sin \alpha \sin \omega \sin \delta}{\cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \omega \cos \delta}$$
$$tang\, \delta'' = \frac{\sin \alpha \cos \omega \sin \delta}{-\sin \omega \cos \alpha + \sin \alpha \cos \omega \cos \delta}$$

Diese beiden letzten Gleichungen dienen zur Berechnung des Phasenunterschiedes der beiden Strahlen und geben

Digitized by Google

$$tang\,(\delta'-\delta'')=\frac{\sin\delta\sin 2\alpha}{\sin 2\omega\cos 2\alpha-\sin 2\alpha\cos 2\omega\cos\delta}.$$

Will man die Richtung haben, für welche die Bilder Maxima und Minima sind, so muſs man die Formeln (13) in Bezug auf ω differentiren; sie geben:

$$-\cos 2\alpha\sin 2\omega+\sin 2\alpha\cos 2\omega\cos\delta$$

$$\cos 2\alpha\sin 2\omega-\sin 2\alpha\cos 2\omega\cos\delta$$

Da beide Differentiale bis auf das Zeichen gleich sind, so folgt daraus, daſs das eine Bild ein Maximum seyn werde, wenn das andere ein Minimum ist, und umgekehrt, und dieſs geschieht für die gefundene Richtung, indem man die Differentiale $=0$ setzt; man erhält so:

$$tang\,2\omega=tang\,2\alpha\cos\delta$$

eine Relation identisch mit der, welche die Richtung der Axen der Ellipse giebt. Daraus folgt:

1) Das eine Bild wird also ein Maximum seyn, und das andere ein Minimum, wenn man den Hauptschnitt des zerlegenden Prisma's in die Richtung einer der Axen der Ellipse stellt.

Man wird auch bemerken, daſs die Formeln (12) und (13) einerseits für A^2 und A'^2, andererseits für B^2 und B'^2 gleiche Werthe geben.

2) Also ist die Intensität der Schwingung in Richtung der Axen der Ellipse proportional dem Quadrat der Länge derselben. Daraus folgt, daſs wenn der Hauptschnitt des Prisma's mit der groſsen Axe der Ellipse zusammenfällt, die Schwingung nach dieser Axe gerichtet ist, d. h. daſs der auſserordentliche Strahl ein Maximum seyn wird, wenn der ordentliche ein Minimum ist.

Ersetzt man in der Formel (14) den Winkel ω durch den Werth, welcher die Richtung der Axen giebt, so findet man:

$$tang\,(\delta'-\delta'')=\infty \text{ oder } \delta'-\delta''=90^\circ,$$

das heiſst:

3) Jede elliptische Schwingung kann in zwei nach Richtung der beiden Axen polarisirte Strahlen zerfällt werden, deren Intensitäten dem Quadrat der Längen die-

Digitized by Google

ſer Axen proportional ſind und deren Phaſen um eine Viertelwelle abweichen.

Sucht man endlich die Bedingung, welcher der Winkel ω genügen muſs, damit die Intenſitäten der beiden Bilder gleich ſeyen, ſo muſs man ſetzen:

$$A'^2 - B'^2 = 0,$$

was giebt:

$$\left.\begin{array}{c} \cos.2\,\omega' = \tang.2\,\alpha \cos\delta = \tang 2\,\omega \\ 2\,\omega' = 90^0 \pm 2\,\omega \\ \omega' = 45^0 \pm \omega \end{array}\right\} \quad (15)$$

4) Die beiden Bilder ſind gleich, wenn der Hauptſchnitt um 45° gegen die Axen der Ellipſe neigt.

Dieſe Reſultate laſſen ſich nun experimentell verwirklichen. Um nämlich die Lage der Axen der Ellipſe zu erhalten, braucht man nur die Richtung des Hauptſchnitts zu ſuchen, welche dem einen Bilde die gröſste und dem andern die kleinſte Intenſität verleiht; und wenn man das Längenverhältniſs der Axen haben will, hat man nur das Intenſitätsverhältniſs dieſer Bilder zu meſſen.

Da es bloſs die erſte dieſer Aufgaben iſt, mit der ich beſchäftigt bin, ſo will ich erklären, wie man den Verſuchen eine hinreichende Genauigkeit geben kann. Offenbar wird in allen Fällen, wo die Ellipſe nicht nahezu eine gerade Linie iſt, der Unterſchied zwiſchen dem Maximum und Minimum nicht ſehr merklich und folglich die Richtung der Axen ſchwierig zu finden ſeyn. Allein wir können dieſe Beſtimmung durch eine andere erſetzen, wenn wir uns erinnern, daſs ſobald der Zerleger 45 Grad gegen die Richtung der Axen macht, die beiden Bilder gleich ſind. Wir beſtimmen alſo dieſe letztere Richtung, und indem wir dann den gefundenen Winkel um 45° vergröſsern oder verringern, haben wir die Lage der beiden Axen.

Um aber ſichere Reſultate zu erhalten, iſt es durchaus nothwendig mit einem durch ein gut gewähltes rothes Glas homogen gemachten Lichte zu arbeiten; ſonſt haben die Bündel immer verſchiedene Farben und der Proceſs ver-

Digitized by Google

verliert all seine Genauigkeit. Zu erwägen ist überdieſs, daſs es vier Richtungen von 45° Neigung gegen die Axen giebt, und daſs man für jede Incidenz die Azimute gleicher Farben ω, $90° + \omega$, $180° + \omega$ und $270° + \omega$ bestimmen können wird. Sind diese Richtungen einmal bekannt, so erhält man die der Axen, indem man sie um 45° vergröſsert oder verringert.

In den folgenden Tafeln ist immer das Azimut angegeben, für welches das auſserordentliche Bild ein Minimum wird, es ist das der kleinen Axe der Ellipse; es würde das Azimut der Polarisationsebene seyn, wenn die Ellipse in eine gerade Linie überginge.

Andrerseits ist die Richtung der Axen der Ellipse theoretisch gegeben durch die Formel

$$tang\,2\omega = tang\,2\alpha\,cos\,\delta,$$

wenn man sich der Bedingungsgleichung erinnert:

$$tang\,\alpha = \frac{J}{I}\,tang\,a.$$

Diese beiden Formeln erlauben den Winkel ω in Function von a, δ, I und J für jeden besonderen Einfallswinkel zu berechnen, und so kann man den Versuch mit der Rechnung vergleichen.

Ich habe drei Beobachtungsreihen an Spiegelmetall gemacht und dabei das Licht in den Azimuten 20° 15′, 46° und 71° 25′ polarisirt. Die Beobachtungen gaben bei mehrmaliger Wiederholung stets übereinstimmende Zahlen und die mittleren Resultate stehen mit der Theorie in vollem Einklang, wie man aus den folgenden Tafeln ersehen wird.

Spiegelmetall. — Azimut der kleinen Axe der Oscillationsellipse des Aethertheilchens nach der Reflexion.

Incidenz.	Licht polarisirt im Azimut 20° 15'.			Licht polarisirt im Azimut 46°.			Licht polarisirt im Azimut 71° 25'.		
	Azimut der kleinen Axe der Ellipse.		Unterschied.	Azimut der kleinen Axe der Ellipse.		Unterschied.	Azimut der kleinen Axe der Ellipse.		Unterschied.
	Beobachtet.	Berechnet.		Beobachtet.	Berechnet.		Beobachtet.	Berechnet.	
86	+15° 11'	+15° 9'	+0° 2'	+39° 24'	+39° 29'	−0° 5'	−20° 26'	−20° 45'	−0° 19'
84	+12 8	+12 12	−0 4	+36 13	+35 45	+0 28	−20 0	−20 0	0 0
82	+9 32	+9 6	+0 26	+32 31	+30 54	+0 37	−17 46	−18 2	−0 16
80	+6 41	+5 54	+0 47	+24 49	+23 28	+1 21	−14 5	−13 39	+0 26
78	+3 28	+2 51	+0 37	+14 54	+13 33	+1 21	−8 46	−7 34	+1 12
76	+0 12	+0 13	−0 1	+1 39	+1 45	−0 6	−1 19	−0 34	+0 45
74	−1 57	−2 14	−0 17	−10 49	−10 46	+0 3	+5 44	+5 45	−0 1
72	−4 12	−4 28	−0 16	−19 54	−19 5	+0 49	+9 59	+10 24	−0 25
70	−6 27	−6 12	+0 15	−26 14	−25 8	+1 6	+13 23	+13 56	−0 33
68	−8 11	−7 58	+0 13	−29 36	−28 57	+0 39	+15 39	+16 14	−0 35
66	−9 23	−9 19	+0 4	−32 6	−32 32	−0 26	+18 3	+17 57	+0 6
64	−10 23	−10 40	−0 17	−34 6	−33 49	+0 17	+18 55	+18 45	+0 10
62	−11 39	−11 46	−0 7	−35 40	−35 23	+0 17	+19 24	+19 28	−0 4
60	−12 43	−12 42	+0 1	−36 49	−36 47	+0 2	+19 46	+19 54	−0 8
58	−13 30	−13 32	−0 2	−37 48	−38 9	−0 21	+19 50	+20 10	−0 20
56	−14 2	−14 27	−0 25	−38 53	−39 2	−0 9	+20 0	+20 15	−0 15
54	−14 48	−14 55	−0 7	−39 31	−39 26	+0 5	+20 0	+20 25	−0 25

Digitized by Google

52	− 15 5	− 15 31	− 0 26	− 39 49	− 40 7	− 0 18		
50	− 15 49	− 16 5	− 0 16	− 40 15	− 40 44	− 0 29		
48	− 16 12	− 16 30	− 0 18	− 40 45	− 41 16	− 0 31		
46	− 16 35	− 16 55	− 0 20	− 41 4	− 41 45	− 0 41		
44	− 17 21	− 17 17	+ 0 4	− 41 30	− 42 11	− 0 41		
42	− 17 45	− 17 39	+ 0 6	− 42 5	− 42 35	− 0 30		
40	− 18 2	− 17 57	+ 0 5	− 42 36	− 42 57	− 0 21		
38	− 18 28	− 18 14	+ 0 9	− 42 52	− 43 17	− 0 25		
36	− 18 42	− 18 28	+ 0 14	− 43 13	− 43 36	− 0 23		
34	− 18 57	− 18 42	+ 0 15	− 43 33	− 43 53	− 0 20		
32	− 19 14	− 18 54	+ 0 20	− 43 55	− 44 9	− 0 14		
30	− 19 46	− 19 1	+ 0 45	− 44 21	− 44 23	− 0 2		

Nicht allein die Richtung der Axen der Ellipse zu kennen, ist interessant, weil sie eine Prüfung der theoretischen Formeln gestattet, sondern es giebt auch die bloſse Bestimmung dieser Unbekannten das Verhältniſs der Intensitäten $\frac{J^2}{I^2}$ der in den Hauptazimuten reflectirten Strahlen.

Erinnern wir uns, daſs das Azimut des Hauptschnitts, für welches die beiden Bilder gleich sind, gegeben wird durch die Formel:

$$tang\,2\omega' = -\frac{cot\,2\alpha}{cos\,\delta} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (16)$$

Entwickelt man nun $cot\,2\alpha$ und ersetzt α durch seinen Werth, so erhält man:

$$2\,cot\,\delta\;tang\,2\omega' = \frac{1}{\frac{I}{J}\,cot\,\alpha} - \frac{I}{J}\,cot\,\alpha$$

Diese Formel enthält zwei Unbekannte, δ und $\frac{I}{J}$, welche nicht vom Versuch gegeben werden, und wenn man denselben zur Bestimmung einer der Unbekannten anwenden wollte, müſste man die andere kennen oder eliminiren. Durch eine geringe Abänderung des Versuchs läſst sich aber diese Aufgabe auf eine viel einfachere und von der Unbekannten δ unabhängige Form zurückführen.

Bemerken wir nämlich, daſs einer der beiden Winkel a und ω' willkührlich ist. Bisher polarisirten wir das Licht in einem Azimut $(90^\circ - a)$, welches wir nach Belieben wählen konnten; wir drehten das doppelt-brechende Prisma bis zur Gleichheit der beiden Bilder und maſsen das Azimut ω'. Gegenwärtig können wir umgekehrt verfahren, d. h. das doppelt-brechende Prisma anfangs in ein für alle Versuche constantes, sonst aber beliebiges Azimut ω' bringen, dann das polarisirende Nicol'sche Prisma drehen und bei jeder Incidenz das Polarisationsazimut $(90^\circ - a)$ messen, bei welchem die beiden Bilder gleich sind. Unter allen Werthen, die man ω' geben könnte, setze ich $\omega' = 0$, d. h. bringe den Hauptschnitt des doppelt-brechenden Prisma in die Einfallsebene. Die Formel wird dann:

$$0 = \frac{I}{J} \cot a - \frac{1}{\frac{I}{J} \cot a} \quad \text{oder} \quad \frac{J}{I} = \operatorname{tang}(90^\circ - a).$$

Der Phasenunterschied ist dann eliminirt und man gelangt zu folgendem, merkwürdig einfachem Resultat: Das Verhältniſs der Quadratwurzeln aus den Intensitäten der in der Einfallsebene und der darauf winkelrechten Ebene polarisirten Strahlen ist gleich der Tangente des Polarisationsazimuts des einfallenden Strahls, bei welchem die beiden Bilder gleich sind.

Diese Methode steht keiner bereits von mir beschriebenen an Genauigkeit nach. Sie erfordert nämlich keinen intermediären Körper, verlangt bloſs eine einzige Re-

Digitized by Google

flexion und erlaubt die Anwendung eines einfachen Lichts, was uns gegen die Fehler aus der ungleichen Brechbarkeit der Strahlen des weiſsen Lichtes schützt; endlich bestimmt sie den gesuchten Winkel a nicht durch Messung des Polarisationsazimuts eines Strahls, was immer wenig genau ist, sondern durch das Azimut, bei welchem zwei Farben gleich sind, was unendlich genauer und empfindlicher ist.

Spiegelmetall. — Verhältniſs der Quadratwurzeln aus den Intensitäten des reflectirten Lichts $\left(\frac{J}{I}\right)$.

Incidenzen.	Beobachtete Winkel $90^0 - a$.	Verhältniſs $\frac{J}{I}$. Beobachtet.	Berechnet.	Unterschiede.
86°	50° 20′	1,206	1,230	— 0,024
84	52 37	1,357	1,327	+ 0,030
82	54 43	1,413	1,419	— 0,006
80	55 41	1,465	1,476	— 0,011
78	56 1	1,483	1,507	— 0,024
76	56 40	1,520	1,515	+ 0,005
74	56 15	1,497	1,502	— 0,005
72	55 37	1,461	1,463	— 0,002
70	55 23	1,448	1,451	— 0,003
68	54 50	1,419	1,421	— 0,002
66	54 22	1,395	1,402	— 0,007
64	53 45	1,364	1,357	+ 0,007
62	53 22	1,344	1,329	— 0,015
60	52 24	1,298	1,301	— 0,003
58	52 0	1,280	1,275	+ 0,005
56	51 36	1,261	1,236	+ 0,025
54	50 45	1,224	1,228	— 0,004
52	50 20	1,206	1,206	
50	49 52	1,186	1,187	— 0,001
48	49 29	1,170	1,169	+ 0,001
46	49 5	1,154	1,152	+ 0,002
44	48 48	1,142	1,150	— 0,008
42	48 20	1,123	1,123	
40	48 10	1,117	1,110	+ 0,007
38	47 35	1,094	1,097	— 0,003
36	47 22	1,088	1,086	+ 0,002
34	47 6	1,076	1,076	
32	47 0	1,072	1,066	+ 0,006
30	46 48	1,065	1,058	+ 0,007

Digitized by Google

Ich schlieſse dieses Kapitel mit einigen Bemerkungen über die von Herrn de Sénarmont veröffentlichte Arbeit [1]).

Dieser Physiker lieſs einen in irgend einem Azimut polarisirten Strahl an Metall reflectiren, fing ihn nun mit einer Glimmerplatte von solcher Dicke auf, daſs die beiden Hauptstrahlen beim Durchlaufen derselben einen Gangunterschied von einer Viertelundulation erlangten, und brachte den Hauptschnitt dieser Platte in eine Richtung ω, welche die geradlinige Polarisation wieder herstellte. Offenbar läuft dieser Versuch auf Folgendes hinaus:

Der vom Metall elliptisch polarisirte Strahl zerfällt in zwei Bündel, polarisirt nach Ebenen parallel und winkelrecht gegen den Hauptschnitt der dünnen Glimmerplatte. Die Berechnung der Intensitäten und Phasen dieser Strahlen ist schon im Vorhergehenden ausgeführt; ihr Gangunterschied wird ausgedrückt durch folgende Formel:

$$tang\,(\delta'-\delta'')=\frac{\sin\delta\ \cos 2\alpha}{\sin 2\omega\ \cos 2\alpha\ -\ \sin 2\alpha\ \cos 2\omega\ \cos\delta}\ \ldots\ (14)$$

In Folge des Durchlaufens der Glimmerplatte erlangen diese Strahlen abermals einen Phasenunterschied von einer Viertelwelle oder von 90°, welcher sich dem ersten entweder addirt oder subtrahirt. Damit die Polarisation wieder hergestellt werde, muſs die erhaltene Summe entweder Null oder gleich 180° seyn, was nur geschehen kann, wenn $(\delta'-\delta'')$ selber gleich $\pm 90°$ ist. Diese Bestimmung reducirt sich also auf die Aufsuchung einer Richtung, bei welcher die beiden winkelrechten Strahlen, in die die Ellipse zerfällt, einen Gangunterschied von einer Viertelwelle besitzen. Diese Richtung ist die eine der Axen der Ellipse; man erhält sie, wenn man setzt:

$$tang\,(\delta'-\delta'')=\infty,\ \text{woraus}\ tang\,2\omega = tang\,2\alpha\,\cos\delta.$$

Um für die eben gefundene Richtung die Intensitäten der winkelrecht polarisirten Strahlen zu erhalten, braucht

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. II. T. LXXIII, p.* 337. (S. Ann. Ergänzbd. I. S. 451.)

Digitized by Google

man nur A'^2 und B'^2 in den Formeln (13) zu berechnen und dabei ω durch seinen Werth zu ersetzen; diese Intensitäten sind den Längen der Axen proportional.

Bei den Versuchen des Herrn de Sénarmont ist der Phasenunterschied Null geworden und die Polarisation ist durch Superposition der beiden winkelrecht polarisirten Strahlen, deren Intensitäten A'^2 und B'^2 sind, wieder hergestellt; das Azimut der wieder hergestellten Polarisation ist also gegeben durch die Formel:

$$tang\,\beta = \frac{A'}{B'}.$$

Die Versuche des Herrn de Sénarmont messen folglich zwei Azimute:

1) das Azimut des Hauptschnitts der Glimmerplatte, und dieſs ist die Richtung einer der Axen der Ellipse;

2) das Azimut der wieder hergestellten Polarisation und die Tangente dieses Winkels drückt das Längen-Verhältniſs der Axen der Oscillationsellipse aus.

Ich hielt es für nöthig die theoretische Bedeutung dieser beiden Bestimmungen hervorzuheben, da sie die elliptische Bewegung der Aethertheilchen nach der Reflexion am Metall vollständig definiren. Noch interessanter wäre es, die Theorie mit den Versuchen zu vergleichen, aber leider scheinen diese nicht genau genug zu seyn; practische Schwierigkeiten, die Herr de Sénarmont selber erkannt hat, stören die Beobachtungen und machen sie zuweilen unmöglich.

IV. Erscheinungen bei mehrfachen Reflexionen.

Obgleich ich schon bei Beschäftigung mit den Phasendifferenzen von den mehrfachen Reflexionen gesprochen habe, so bleibt mir noch zu zeigen, daſs alle Umstände dieser Versuche leicht vorhergesehen und berechnet sind; ich will dieſs zunächst für den Fall thun, daſs die reflectirenden Flächen parallel seyen.

Man wird sich erinnern, daſs mehre Reflexionen in gerader oder ungerader Zahl unter bestimmten Incidenzen

die ebene Polarisation wieder herstellen können, — eben so ferner, daſs wenn der einfallende Strahl in einem bestimmten Azimut polarisirt ist, z. B. links von der Einfallsebene, der reflectirte Strahl zuweilen rechts, zuweilen links von dieser Ebene polarisirt wird, — endlich daſs das Azimut des wieder hergestellten Strahls immer kleiner ist als das des einfallenden Strahls. Es giebt also, wie man sieht, bei dieser Erscheinung drei Punkte zu untersuchen, nämlich:

1) die Incidenz, bei welcher die Polarisation wieder hergestellt ist;

2) der Sinn des Azimuts des wieder hergestellten Strahls;

3) der absolute Werth dieses Azimuts.

Wir wollen sie nach der Reihe durchnehmen:

1. Die Winkel, bei welchen nach einer einzigen Reflexion, die Phasenunterschiede sind:

$$0, \frac{\pi}{m}, \quad \frac{2\pi}{m}, \quad \frac{3\pi}{m}, \ldots \frac{(m-1)\pi}{m}, \quad \frac{m\pi}{m}$$

lassen sich immer berechnen, denn da die Formeln für die Phasendifferenzen

$$tang\ \delta = tang\ 2\omega\ sin\ u\ ,\ tang\ \omega = \frac{U\ cos\ i}{sin^2\ i}$$

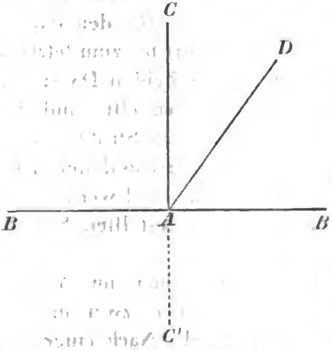
sind, so braucht man nur δ successiv durch die vorstehenden $(m+1)$ Werthe in diesen Gleichungen zu ersetzen; man erhält dann $(m+1)$ Werthe von i (deren erster $= 0$ und deren letzter $= 90°$), bei welchen der Phasenunterschied den vorstehenden Gröſsen gleich ist. Läſst man das Licht m Mal unter den Incidenzen reflectiren, so werden die Phasenunterschiede Multipla von m und gleich

$$0,\ \pi,\ 2\pi,\ 3\pi,\ \ldots\ m\pi.$$

Es giebt also $(m+1)$ Incidenzen, mit Einschluſs der von 0° und 90°, oder, zwischen diesen, $(m-1)$, bei welchen die Polarisation wieder hergestellt wird und welche man mittelst der theoretischen Formeln berechnen kann. Bemerken wir noch, daſs es deren nicht mehre geben

kann, denn, damit die Polarisation wieder eben werde, ist es nothwendig und hinreichend, daſs der Phasenunterschied gleich sey einem Multiplum von π; da er zwischen den Gränz-Incidenzen für eine einzige Reflexion von 0 bis π schwankt, so liegt er nach m Reflexionen zwischen 0 und $m\pi$, und man kann zwischen diesen Zahlen nur $(m-1)$ Multipla von π finden. Es wird also zwischen 0° und 90° nur $(m-1)$ Winkel der wieder hergestellten Polarisation geben. Diese theoretischen Folgerungen bestätigen genau die Thatsachen; der erste Punkt ist also vollständig behandelt.

2. Es wird nicht schwer seyn, den Sinn der Polarisationsazimute vorauszusehen.



Gesetzt die Schwingung des einfallenden Strahls geschehe längs AD; sie wird in zwei nach den beiden Hauptebenen AB, AC gerichteten Schwingungen zerfallen. Nach m Reflexionen, wann die Polarisation wieder hergestellt ist, werden die Phasen der beiden Componenten um ein Multiplum von halben Wellen verschieden seyn; ist dieses Multiplum ein gerades, so ist der Unterschied eine ganze Zahl von Wellen. Die Schwingungen sind in demselben Fall, wie wenn er Null wäre; sie stimmen überein wie vor der Reflexion und ihre Resultante wird in dem Winkel CAB liegen. In diesem Fall wird der wieder hergestellte Strahl nach derselben Seite der Einfallsebene polarisirt seyn wie der einfallende Strahl.

Ist das Multiplum ein ungerades, so haben die componirenden Schwingungen zuletzt einen Gangunterschied von einer halben Welle; sie discordiren und die wieder

Digitized by Google

hergestellte Schwingung liegt im Winkel $B' A C'$ oder $C A B'$. Der Sinn der Polarisation ist also geändert.

Also für Winkel, die, nach m Reflexionen, zwischen den Hauptstrahlen Gangunterschiede gleich

$$0, \frac{2\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2}, \frac{6\lambda}{2}, \text{ u. s. w.}$$

geben, wird der wieder hergestellte Strahl rechts von der Einfallsebene polarisirt seyn, wenn es der einfallende Strahl ebenfalls war. Sind aber die Unterschiede

$$\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \ldots\ldots$$

so wird die Ebene der wieder hergestellten Polarisation links von der Einfallsebene liegen.

Für den nächsten Winkel an 0 wird also die Polarisation links wieder hergestellt seyn, für den darauf folgenden rechts, und so abwechselnd fort bis zum letzten.

Es ist gut zu bemerken, dafs diese beiden Data: der Winkel, der die Polarisation wieder herstellt, und der Sinn des Azimuts des wieder hergestellten Strahls, absolut nur abhängen von dem Phasenunterschied der nach den Hauptebenen polarisirten Strahlen. Bald werden wir sehen, dafs das Azimut des wieder hergestellten Strahls nur von deren Intensität abhängt.

3. Da der einfallende Strahl immer im Azimut $(90^0 - a)$ polarisirt ist, so zerfällt er in zwei andere, deren Amplituden $\cos a$ und $\sin a$ sind. Nach einer ersten Reflexion sind sie geworden:

$I \cos a$, Schwingung in der Einfallsebene
$J \sin a$, do. winkelrecht darauf.

Eine zweite Reflexion ertheilt ihnen proportionale Veränderungen; sie werden:

$$I^2 \cos a, \; J^2 \sin a.$$

Nach m Reflexionen werden sie

$$I^m \cos a, \; J^m \sin a$$

und wenn die Polarisation unter einer gewissen Incidenz hergestellt ist, wird die Cotangente des Schwingungsazimut, oder, was auf dasselbe hinausläuft, die Tangente

Digitized by Google

des Azimuts der wieder hergestellten Polarisation ausgedrückt durch das Verhältniſs der Schwingung in der Einfallsebene zu der winkelrecht darauf, so daſs man hat:

$$cot\, x = \frac{I^m \cos a}{J^m \sin a} = \left(\frac{I}{J}\right)^m cot\, a.$$

Um also nach *m* Reflexionen die Tangente der unter einem gegebenen Winkel wieder hergestellten Polarisation zu erhalten, muſs man für diese Incidenz das Verhältniſs $\frac{I}{J}$ berechnen, dasselbe in die Potenz *m* erheben und mit der Tangente vom Azimut des einfallenden Strahls multipliciren.

Wiederholen wir die schon gemachte Bemerkung: die Incidenz der wieder hergestellten Polarisation hängt nur von der Phasendifferenz ab, das Azimut nur vom Verhältniſs der Intensitäten. Man kann auf das Phänomen der wieder hergestellten Polarisation nicht Wichtigkeit genug legen; es ist das Resultat zweier Modificationen des Lichts: einer Aenderung der Phase und einer der Amplituden, bei welcher man zweierlei zu messen hat: eine Incidenz und ein Azimut, welche getrennte Functionen des Phasenunterschiedes und des Intensitätsverhältnisses der Hauptstrahlen sind, so daſs die Beobachtung der Incidenzen uns zur Bestimmung der Phasen gedient hat, und die der Azimute, in Ermangelung anderer Mittel, zur Aufsuchung des Intensitätsverhältnisses dienen könnte. Dieſs Phänomen würde also hinreichen, alle Elemente der Metall-Reflexion zu finden.

Die Versuche des Herrn Brewster bestätigen die Folgerungen der Theorie für den besonderen Fall, wo die Incidenz die des Polarisationsmaximum ist. Ich werde bei diesem Gegenstand auf die Abhandlung des Herrn de Sénarmont zurückkommen. Ich hielt es für nöthig, neue Versuche an einem noch nicht berücksichtigten Metall, am Kupfer, anzustellen, zugleich die Incidenzen und die Azimute der wieder hergestellten Polarisation

Digitized by Google

für jede mögliche Zahl von Reflexionen zu bestimmen und die Resultate theoretisch zu berechnen. Obgleich man im Voraus sicher seyn konnte, Rechnung und Versuch in Einklang zu finden, so schien die Probe doch nicht unnütz zu seyn.

Kupfer. — **Winkel und Azimute der durch mehrfache Reflexion wieder hergestellten Polarisation. (das Azimut des einfallenden Strahls ist 45°.)**

Anzahl der Reflexionen.	Winkel der wieder hergestellten Polarisation. Beobachtet.	Winkel der wieder hergestellten Polarisation. Berechnet.	Unterschiede.	Azimute der wieder hergestellten Polarisation. Beobachtet.	Azimute der wieder hergestellten Polarisation. Berechnet.	Unterschiede.
6	83° 33′	84° 14′	— 0° 41′	— 29° 40′	— 29° 57′	— 0° 17′
4	81 0	80 52	+ 0 8	— 30 3	— 31 36	— 1 33
6	77 40	77 33	+ 0 7	+ 22 35	+ 22 6	+ 0 29
3	78 0		+ 0 27	+ 32 20	+ 32 30	— 0 10
10	74 25	74 42	— 0 17	+ 11 5	+ 12 1	— 0 56
2	70 9		+ 0 9	— 34 0	— 33 15	+ 0 45
4	70 54		+ 0 54	+ 22 30	+ 23 16	— 0 46
6	70 0	70 0		— 16 0	— 15 45	+ 0 15
8	69 40		— 0 20	+ 11 35	+ 10 28	+ 1 7
10	70 0			— 6 35	— 7 0	— 0 25
10	64 40	64 28	+ 0 12	+ 13 30	+ 13 42	— 0 12
6	60 10	60 5	+ 0 5	+ 24 45	+ 25 3	— 0 18
3	60 40		+ 0 35	— 33 15	— 34 21	— 1 6
10	57 40	57 37	+ 0 3	— 16 0	— 16 57	— 0 57
4	55 5	55 24	— 0 19	— 31 30	— 32 54	— 1 24
8	55 18		— 0 6	+ 22 35	+ 22 42	— 0 7
10	49 40	48 40	+ 1 0	+ 23 30	+ 23 29	+ 0 1
6	45 0	44 56	+ 0 4	— 34 0	— 33 13	+ 0 47
8	42 10	43 39	— 1 29	— 30 15	— 30 27	— 0 12

Die letzten Versuche, welche wir zu prüfen haben, sind die, bei denen die beiden Einfallsebenen einen bestimmten Winkel ω unter sich bilden. Herr Brewster lieſs das Licht unter einem bestimmten und constanten Winkel an einer ersten Fläche reflectiren, suchte dann experimentell die Incidenz auf, bei welcher er das Licht an einer zweiten Fläche reflectiren lassen muſste, damit die Polarisation wieder hergestellt würde. Diese sind die Versuche, welche Herr Brewster durch ein empirisches, ohne Zweifel sehr sinnreiches, aber aller Bedeutung entblöſstes Verfahren vorgestellt hat (die Complemente der Einfallswinkel an der zweiten Fläche setzte er gleich den Fahrstrichen einer Ellipse); es wird nicht unnütz seyn zu zeigen, daſs die Theorie auch in diesem letzten Fall mit den Thatsachen in Einklang steht.

Der auf S. 461 u. s. f. ausgeführte Calcul gilt hier ohne Abänderung. Ein einfallender im Azimut $(90° - a)$ polarisirter Strahl reflectirt sich an einer ersten Metallplatte unter einer bestimmten Incidenz; er giebt nach der Reflexion zwei in den Hauptazimuten polarisirte Strahlen, vorgestellt durch die Formeln:

$$x = \cos a \cos 2\pi \frac{t}{T},$$

$$y = \sin a \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \delta\right).$$

Diese beiden Bündel fallen auf eine zweite Fläche, deren Einfallsebene mit der der ersten einen Winkel ω macht; sie rufen zwei andere in den Hauptebenen der neuen Platte polarisirte hervor, deren Schwingungen bezeichnet werden durch:

$$x' = A' \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \delta'\right),$$

$$y' = B' \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \delta''\right),$$

und der Phasenunterschied dieser Strahlen vor der Reflexion an der zweiten Fläche wird ausgedrückt durch die Formel:

$$tang\,(\delta'-\delta'')=\frac{\sin\delta\,\sin 2\,\alpha}{\sin 2\,\omega\,\cos 2\,\alpha-\sin 2\,\alpha\,\cos 2\,\omega\,\cos\delta}\quad .\;.\;.\quad (14)$$

Wir haben demnach den einmal reflectirten Strahl in zwei Bündel zerlegt, die nach den Hauptebenen der zweiten reflectirenden Fläche polarisirt sind. Vor der Reflexion besitzen sie einen Gangunterschied $(\delta'-\delta'')$, und durch den Act der zweiten Reflexion erlangen sie einen neuen Phasenunterschied δ''', welcher sich dem ersten addirt und eine Summe $\delta'-\delta''+\delta'''$ giebt, Damit der Strahl dann wieder geradlinig polarisirt sey, ist es nöthig und hinreichend, daſs $\delta'-\delta''+\delta'''=\pi$, woraus $\delta'''=\pi-(\delta'-\delta'')$. Durch die Formeln (9) berechnet man, bei welchem Einfallswinkel an der zweiten Fläche diese Phasendifferenz entstehen könne, und hat dann nur noch den Versuch mit den Rechnung zu vergleichen.

Dieser Vergleich ist hier für zwei aus der Abhandlung des Herrn Brewster [1]) genommene Tafeln gemacht. In der ersten, für Silber geltenden, ist die Incidenz an der ersten Fläche 80°. Die Winkel der beiden Einfallsebenen stehen in der ersten Kolumne, und die folgenden enthalten die Complemente der Incidenzen, welche die ebene Polarisation wieder herstellten. Man wird die Unterschiede zwischen Versuch und Rechnung nur unbedeutend finden, wenn man erwägt, welche Schwierigkeit die genaue Messung der Azimute und Incidenzen bei so complicirten Versuchen darbieten muſs.

Versuche des Herrn Brewster mit *Silber*.
Incidenz an der ersten Fläche = 80°.

Winkel der beiden Einfallsebenen.	Phasendifferenz der Hauptstrahlen bei d. zweiten Incidenz.	Complement der Incidenzen, die bei einer zweiten Reflexion die geradlinige Polarisation wieder herstellen.		Unterschiede.
		Beobachtet.	Berechnet.	
+ 90° 0'	54° 19'	0° 0'	9° 24'	+ 0° 36'
78 45	57 51	0 0	9 53	+ 0 7
67 30	66 26	11 32	11 37	− 0 5
56 15	79 56	14 20	14 33	− 0 13
45 0	96 7	18 20	18 37	− 0 17

1) *Philosoph. Transact. f.* 1830. (Ann. Bd. XXI. S. 243.)

Digitized by Google

Winkel der beiden Einfallsebenen.	Phasendifferenz der Hauptstrahlen bei d. zweiten Incidenz.	Complement der Incidenzen, die bei einer zweiten Reflexion die geradlinige Polarisation wieder herstellen.		Unterschiede.
		Beobachtet.	Berechnet.	
33° 45′	110° 40′	21° 13′	23° 1′	— 1° 48′
22 30	120 30	25 20	26 32	— 1 12
11 15	125 25	26 55	28 29	— 1 34
0 0	125 41	28 2	28 37	— 0 35
— 11 15	122 90	24 40	26 30	— 1 50
22 30	113 34	21 0	23 59	— 2 59
33 45	100 4	16 40	19 44	— 3 4
45 0	83 53	14 35	15 28	— 0 53
56 15	69 19	11 10.	12 12	— 1 2
67 30	59 30	10 0	11 13	— 1 13
78 45	54 35	10 0	9 15	+ 0 45
90 0	54 19	10 0	9 24	+ 0 36

Versuche des Herrn Brewster mit *Silber*.

Incidenz an der ersten Fläche = 68°.

+ 0° 0′	71° 38′	13° 0	12° 42	+ 0° 18′
+ 11 15	74 54	14 0	13 24	+ 0 36
+ 22 30	80 31	15 15	14 41	+ 0 34
+ 33 45	87 53	16 0	15 58	+ 0 02
+ 45 0	95 28	17 0	18 27	— 1 27
+ 56 15	102 22	19 0	20 25	— 1 25
+ 67 30	106 49	20 0	21 42	— 1 42
+ 78 45	108 57	20 0	22 0	— 2 0
+ 90 0	108 20	20 0	22 15	— 2 15
— 78 45	107 33	18 0	21 14	— 3 14
— 67 30	105 60	16 30	19 30	— 3 0
— 56 15	99 28	15 30	17 32	— 2 2
— 45 0	92 60	14 30	15 38	— 1 8
— 33 45	84 31	14 0	14 0	0 0
— 22 30	77 37	13 30	13 2	+ 0 28
— 11 15	73 10	13 0	12 37	+ 0 23
— 0 0	71 3	13 0	12 42	+ 0 18

In dieser Arbeit habe ich mir vorgenommen, nicht allein die von mir selbst angestellten Versuche kennen zu lehren, sondern auch die meiner Vorgänger in diesem Felde zu recapituliren und zu zeigen, daſs, Dank den mathematischen Theorien des Herrn Cauchy, die Aufgabe von der Reflexion an Metallen gegenwärtig vollkommen gelöst ist. Es bleiben noch einige experimentelle Untersuchungen zu machen übrig, welche, wenn sie auch leichter, dennoch nicht minder wichtig sind. Man

Digitized by Google

wird für jedes Metall die Werthe der Constanten zu bestimmen haben, um zu ermitteln, wie sie mit den Umständen variiren, welche die Politur, die Dichte und den Molecularzustand des Körpers ändern; man wird auch die verschiedenen einfachen Farben des Spectrums anwenden müssen, um von der Ungleichheit der Wirkung, welche die Metalle auf sie ausüben, die Gesetze aufzusuchen.

Folgerungen.

Die gegenwärtige Arbeit bezweckt zu bestimmen:

1. Die Intensität des von polirten Metallen reflectirten Lichts, wann der einfallende Strahl in dem Azimute 0° oder 90° polarisirt ist.

2. Das Verhältniſs dieser Intensitäten, durch ein anderes Verfahren.

3. Die Phasendifferenz dieser Strahlen nach der Reflexion.

4. Daſs die Resultate der Versuche vollkommen durch die mathematischen Formeln des Herrn Cauchy dargestellt werden.

5. Die Richtung der Axen der Ellipse, welche die Aethertheilchen, nach einer Reflexion an einem Metallspiegel, beschreiben, wenn der einfallende Strahl in irgend einem Azimute polarisirt ist.

6. Durch Rechnung und Versuche: die Incidenzen, bei welchen die Polarisation nach einer gewissen Zahl von Reflexionen an parallelen Flächen wieder geradlinig geworden ist.

7. Für alle Incidenzen: die Azimute der wieder hergestellten Polarisation.

8. Den Werth der Winkel der wieder hergestellten Polarisation, wenn die beiden Einfallsebenen gegen einander geneigt und die Incidenzen an den beiden Spiegeln ungleich sind.

Digitized by Google

V. *Ueber die mechanischen Eigenschaften des Holzes;* *von HH.* Chevandier *und* Wertheim.

(Auszug aus der Abhandlung. Mitgetheilt von Hrn. Chevandier aus den *Compt. rend. T. XXIII.*)

Der Zweck dieser Arbeit war das Studium der mechanischen Eigenschaften einheimischer Hölzer unter theoretischem und practischem Gesichtspunkt. Wir untersuchten folgweise die allgemeinen Gesetze dieser Eigenschaften, den Gang derselben bei den Individuen und die Veränderungen, die aus Verschiedenheit der Art, des Alters, der Herkunft u. s. w. entspringen.

Im ersten Theil dieser Abhandlung geben wir einen Ueberblick der Arbeiten von Musschenbrock, Buffon, Duhamel du Monceau, Girard, Perronet, Bélidor, Rondelet, Barlow, Ebbels und Tredgold, Savart, Charles Dupin, Bevan, Wheatstone, Poncelet, Minard u. Desormes, Ardant, Hodgkinson, Hagen, Paccinotti u. Peri, und wir stellen die Aufgaben, deren Behandlung uns am interessantesten schien, sowohl wegen ihrer Wichtigkeit, als auch wegen der Ungewiſsheit, welche unsere Vorgänger hinsichtlich derselben hinterlassen haben. Diese Aufgaben bilden den Rahmen, in welchen wir glaubten unsere Untersuchungen einschlieſsen zu müssen.

Zu unsern Versuchen bedienten wir uns Bäume vom Westabhange der Vogesen, gewachsen auf Vogesensandstein, buntem Sandstein und Muschelkalk. Wir wählten diese Bäume unter verschiedenartigen und genau bekannten Umständen, was nicht möglich ist, wenn man die Hölzer so nimmt, wie sie gerade im Handel vorkommen.

Wir experimentirten mit vierundneunzig Individuen aus folgenden Geschlechtern: Eiche, Buche, Tanne, Fichte,

Digitized by Google

Hagebuche, Birke, Acacie, Ulme, Esche, Sycomore, Ahorn, Espe, Erle und Pappel; die meisten Versuche wurden mit den vier ersten gemacht.

Unsere Arbeit zerfällt in drei Theile:

1) Untersuchung der Verschiedenheiten, die sich etwa zwischen den verschiedenen Theilen eines selben Baumes finden, und bei denselben Hölzern aus Unterschieden der Feuchtigkeit entspringen können.

2) Untersuchung der mechanischen Eigenschaften ganzer Bäume, mit Rücksicht auf die Umstände, welche sie abändern können.

3) Untersuchung derselben Eigenschaften beim Eichen- und Tannenholz, zerschnitten in die in der Praxis üblichen Formen und Dimensionen.

Für den ersten Theil dieser Untersuchungen haben wir die Bäume im Sinne ihrer Fasern zerschnitten in quadratische Latten von 7 bis 10 Millimeter Seite und 2 Meter Länge, versehen mit der nöthigen Angabe, um zu wissen, von welchem Baume sie stammten, und wie ihre ursprüngliche Lage war.

Diese Latten wurden in vier verschiedenen Zuständen untersucht: 1) als grünes Holz, unmittelbar nach dem Fällen; 2) nach leichtem freiwilligen Trocknen im Laboratorio; 3) nach stärkerem Trocknen, durch Aussetzen der Luft und der Sonne in einer zweckmäſsigen Hülle von grober Leinwand; endlich 4) als völlig trocknes Holz, nach einem längeren Aufenthalt in einer auf 40 bis 50° C. gehaltenen Trockenstube.

Die Menge des in den Latten in diesem letzteren Zustande enthaltenen Wassers wurde durch Trocknen ihrer Späne im Vacuo bestimmt, und für die übrigen Fälle durch die successiven Gewichtsverlüste jeder Latte.

Ebenso schnitten wir Platten senkrecht gegen die Axe, Riegel im Sinne des Radius und in dem der Tangente der Jahresringe.

Die Dichtigkeiten dieser Latten und Riegel wurden

Digitized by Google

theils mit dem Volumenometer des Hrn. Regnault genommen, theils in einer mit Quecksilber gefüllten Stöpselflasche, theils endlich durch das absolute Gewicht, bei der Länge eines Meters und bei Querdimensionen, die mit dem Sphärometer gemessen wurden.

Die Schallgeschwindigkeit wurde bei den Latten nach Chladni's Verfahren mittelst des Longitudinaltons bestimmt. Die Gesetze der Elasticität wurden es durch die Methode der Verlängerungen, indem man jede Latte in drei verschiedenen Feuchtigkeitszuständen und mit den nöthigen Vorsichtsmaſsregeln, der Wirkung successiv wachsender Belastungen aussetzte und mit dem Kathetometer sowohl die elastischen als bleibenden Verlängerungen maſs.

Da die winkelrecht gegen die Fasern geschnittenen Riegel zu kurz waren, um Verlängerungen oder Längsschwingungen unterworfen zu werden, so bestimmten wir ihre Elasticitätscoëfficienten mittelst des Tons, den sie beim transversalen Schwingen gaben, und daraus leiteten wir die Schallgeschwindigkeit ab.

Endlich wurde die Cohäsion durch Zerreiſsen der Latten und Riegel mittelst Zug bestimmt.

An ganzen Bäumen konnte die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften entweder an Stämmen in ihrer ganzen Länge, oder bloſs an Stücken dieser Stämme geschehen.

Im ersten Fall war es unmöglich, den Einfluſs der Höhe zu untersuchen; überdieſs war es sehr schwierig, den Apparat beständig der Länge gemäſs abzuändern und die Formeln auf Resultate anzuwenden, die an unregelmäſsig konischen Stücken, wie die Bäume sind, genommen wurden. Hätte man sie andrerseits auf eine regelmäſsige Form zurückführen gewollt, so hätte man die äuſseren Schichten gröſstentheils fortnehmen müssen, und dieſs würde sie nahezu in die Umstände der in der Praxis üblichen Stücke versetzt haben, mit denen wir in besonderen Versuchen beschäftigt waren. Wir zogen es also

Digitized by Google

vor, aus den gesündesten und regelmäſsigsten Theilen jedes Stammes Stümpfe (*billes*) von 2 Meter Länge zu nehmen. Diese Stümpfe wurden abgerindet und cylindrisch zugearbeitet, was wegen ihrer geringen Länge leicht war, da man an der Basis nur eine geringe Holzdicke fortzunehmen brauchte.

Die Dichtigkeit bestimmte man aus dem absoluten Gewicht, der Länge und dem mittlern Durchmesser.

Der Elasticitätscoëfficient wurde durch Beugen bestimmt, mittelst einer Last in der Mitte der Stümpfe, deren Enden auf zwei steinernen Unterlagen ruhten von solcher Stärke, daſs sie Lasten von mehr als 10,000 Kilogrm. tragen konnten. Diese Unterlagen bildeten den oberen Theil eines gemauerten Brunnens, in dem ein Apparat angebracht war, der solche Lasten trug und sie ohne Ruck und ohne alle Gefahr für die Hülfsarbeiter zu entfernen erlaubte. Die Messungen geschahen mittelst eines Kathetometers mit der Vorsicht, die Compression der Unterlagen in Rechnung zu nehmen und nur kleine Bewegungen hervorzubringen, um in den Bedingungen zu bleiben, für welche die Formeln aufgestellt waren.

Nach jedem Beugungsversuch wurde der Wassergehalt des Holzes direct bestimmt, aus Spänen, die so abgenommen waren, daſs sie den ganzen Stumpf repräsentirten.

Die Cohäsion haben wir nicht bestimmt, weil es schwierig gewesen wäre, Stümpfe von nur 2 Meter Länge und einem oft groſsen Durchmesser zu zerreiſsen.

In dem Theil unserer Arbeit, der sich mit den in der Praxis üblichen Stücken von Eichen- und Tannenholz befaſst, haben wir mit Brettern und Bohlen dieser beiden Hölzer experimentirt, auch mit Werkstücken von verschiedenen Dimensionen, von Sparren (Stücken von $0^m,08$ auf $0^m,10$) bis zu stärkeren Balken (Stücken von $0^m,23$ auf $0^m,25$), und an Länge beim Eichenholz von 4 bis 7 Meter, beim Tannenholz von 10 bis 14. Alle diese Hölzer

Digitized by Google

waren mit scharfen Kanten zugearbeitet, so daſs sie regelmäſsigere Prismen darstellten als die gewöhnlich angewandten Stücke.

Die Dichtigkeit wurde wie vorhin bestimmt.

Der Elasticitätscoëfficient wurde es mittelst eines analogen Apparats wie zu den Stümpfen gedient hatte. Da wir aber bei diesen Versuchen bis zum Zerreiſsen gehen muſsten, so haben wir, um alle Gefahr zu vermeiden, auf diese Stücke Wasserlasten wirken lassen, welche überdieſs den Vortheil haben, daſs sie mittelst einer daneben angebrachten Pumpe langsam und ohne Ruck vergröſsert werden können. Diese Lasten wurden in Kübel (*foudre*), versehen mit Schwimmern, aufgenommen, so daſs man jeden Augenblick die Menge des darin enthaltenen Wassers und folglich die mitten auf das Stück wirkende Last erkennen konnte. Die elastischen und bleibenden Pfeile und die Niederdrückungen der Stützen wurden wie bei den Stümpfen gemessen.

Die Cohäsion wurde bestimmt, indem man die Wasserlasten bis zum Zerbrechen steigerte.

Bei keinem dieser letzteren Versuche haben wir den Feuchtigkeitsgrad bestimmt, weil diese Hölzer sich unter den Umständen der gewöhnlich angewandten befanden.

Wir sind bewogen worden, bei jeder dieser Untersuchungen eine groſse Anzahl von Experimenten zu machen, hauptsächlich mit den Hölzern, die an dem Orte, wo wir operirten, am gewöhnlichsten sind; denn sobald man mit organischen Körpern zu thun hat, lassen sich die Gesetze durch Versuche an einem einzigen Individuum nicht bestimmen, weil diese Körper immer Unterschiede in der Organisation zeigen. Bei den Hölzern insbesondere sind die Unregelmäſsigkeit des Wachsthums, die Veränderungen in Dicke und Richtung, welche man bisweilen in den Schichten antrifft, die Aeste und andere Umstände, welche man weder voraussehen, noch sogar immer nachweisen kann, eben so viele Ursachen zu Regellosigkeiten in den

Digitized by Google

Zahlen. So haben wir, ohne uns bei besonderen Ausnahmen aufzuhalten, in der Gesammtheit der Thatsachen die allgemeinen Gesetze derselben aufgesucht.

Folgendes sind die allgemeinen Resultate, zu denen wir gelangt sind.

Mittlere Resultate der Versuche, angestellt in Richtung der Fasern an mehren Bäumen derselben Art und auf 20 Procent Feuchtigkeit zurückgeführt.

Holz von	Dichtigkeit.	Schallgeschwindigkeit.	Elasticitätscoëfficient.	Verhältn. d. Elasticitätscoëff. gefunden durch Schwingung zu dem durch Verlängerung.	Elasticitätsgränze.	Cohäsion.	Für einen Feuchtigkeitsverlust von 1 Procent. Coëff. der transversal. Contraction.	Coëfficienten der Veränderung in Dichtigkeit.	Coëfficienten der Veränderung in Schallgeschwindigkeit.
Acacien	0,717	14,19	1261,9	1,193	3,188	7,93	0,00300	0,00555	0,00576
Tannen (*sapin*)	0,493	13,96	1113,2	1,056	2,153	4,18	0,00467	0,01026	0,00798
Hagebuche	0,756	11,80	1085,7	1,105	1,282	2,99	0,00149	0,00743	0,00951
Birke	0,812	13,32	997,2	1,212	1,617	4,30	0,00347	0,00422	0,00943
Buche	0,823	10,06	980,4	1,087	2,317	3,57	0,00412	0,00486	0,01068
Quercus pedunculat.	0,808		977,8			6,49			
Quercus robur	0,872	11,58	921,3	1,117	2,349	5,66	0,00461	0,00427	0,00805
Pinus sylvestris.	0,559	10,00	564,1	1,086	1,633	2,48	0,01093	0,01056	0,01369

Digitized by Google

Mittlere Resultate der Versuche, angestellt in Richtung der Fasern an einem einzigen Baume jeder Art und auf 20 Procent Feuchtigkeit zurückgeführt.

Hagebuche	0,723	12,40	1165,3	1,175	1,842	6,99	0,00294	0,00386	0,01006
Sycomore	0,692	13,43	1163,8	1,139	2,303	6,16	0,00312	0,00423	0,00540
Esche	0,697	14,05	1121,4	1,246	2,029	6,78	0,00121	0,00501	0,00489
Erle	0,601	13,95	1108,1	1,121	1,809	4,54	0,00280	0,00410	0,00897
Espe	0,602	15,30	1075,9	1,035	3,082	7,20	0,00385	0,00230	0,00803
Ahorn	0,674	12,36	1021,4	1,068	2,715	3,58	0,00328	0,00363	0,00929
Pappel	0,477	12,89	517,2	1,007	1,484	1,97	0,00583	0,00450	0,00592

Die hier gegebenen Schallgeschwindigkeiten sind die Mittel aus den direct an Latten gefundenen Geschwindigkeiten, während die Elasticitätscoëfficienten nur aus der Gesammtheit unserer Versuche abgeleitet sind. Es sind also nicht entsprechende Werthe.

Versuche gemacht in den Richtungen des Radius und der Tangente.

Hölzer.	In Richtung des Radius.			In Richtung der Tangente.		
	Elasticitäts-coëfficient.	Schallge-schwindigkeit.	Cohäsion.	Elasticitäts-coëfficient.	Schallge-schwindigkeit.	Cohäsion.
Hagebuche	208,4	10,28	1,007	103,4	7,20	0,608
Espe	107,6	9,72	0,171	43,4	5,48	0,414
Erle	98,3	8,25	0,329	59,4	6,28	0,175
Sycomore	134,9	9,02	0,522	80,5	6,85	0,610
Ahorn	157,1	9,26	0,716	72,7	6,23	0,371
Eiche	188,7	9,24	0,582	129,8	7,76	0,406
Birke	81,1	6,46	0,823	155,2	9,14	1,063
Buche	269,7	11,06	0,885	159,3	8,53	0,752
Esche	111,3	8,39	0,218	102,0	7,60	0,408
Ulme	122,6	8,56	0,345	63,4	6,11	0,366
Pappel	73,3	8,44	0,146	38,9	6,32	0,214
Tanne	94,5	8,05	0,220	34,1	4,72	0,297
Fichte	97,7	8,53	0,256	28,6	4,78	0,196

Digitized by Google

Versuche mit Stücken, Bohlen und Brettern von Tannenholz.

Uebliche Bezeichnung.	Zahl der Stücke.	Abstand der Stützen. Met.	Länge. Met.	Breite. Centim.	Dicke. Centim.	Gewicht. Kilogrm.	Spec. Gewicht.	Elasticitäts-coëfficient.	Last zum Zerreiſsen. Kilogrm.
11 bis 12	1	13,00	14,00	28,99	32,41	697,00	0,530	1136,7	6404
9 » 10	1	11,00	13,00	25,46	28,35	475,00	0,506	1156,7	5394
8 » 9	3	9,00	10,48	22,30	24,30	310,75	0,548	1026,9	3447
6 » 7	3	9,00	10,46	16,99	19,63	183,60	0,525	1245,0	2082
Sparre	3	9,00	10,47	9,27	12,31	57,48	0,481	1257,6	517
Bohle	15	3,02	4,24	24,63	5,40	27,79	0,493	1089,8	917
Balken	42	3,02	4,25	24,13	2,78	13,74	0,479	1202,2	264

Vergleiche mit Stücken, Bohlen und Brettern von Eichenholz.

Uebliche Bezeichnung.	Zahl der Stücke.	Abstand der Stützen. Met.	Länge. Met.	Breite. Centim.	Dicke. Centim.	Gewicht. Kilogrm.	Spec. Gewicht.	Elasticitäts-coëfficient.	Last zum Zerreiſsen. Kilogrm.	
$8\frac{1}{4}$ bis $9\frac{1}{2}$	1	5,50	5,87	23,18	25,28	346,70	1,008	825,1	7889	*Querc. robur.*
8 » 9	1	5,50	6,11	21,67	23,67	300,30	0,958	822,3	7189	
7 » 8	1	5,50	7,06	19,07	22,00	273,20	0,922	858,9	5225	
6 » 7	1	5,50	6,82	15,99	18,90	191,30	0,928	1007,0	5525	
5 » 6	1	5,50	6,54	13,67	16,10	141,70	0,985	638,1	2225	
Sparre	1	3,00	4,01	8,28	8,14	17,20	0,636	601,3	540	*Querc. pedunculat.*
Sparre	1	2,50	4,00	7,82	8,04	19,10	0,759	774,3	735	
	1	5,50	6,50	29,34	5,46	71,30	0,685	965,8	435	
	1	3,00	3,65	14,34	4,22	18,20	0,824	1210,7	375	
	1	3,00	3,37	24,22	2,82	16,40	0,712	1251,2	335	

Digitized by Google

Es ist nicht immer möglich, aus den eben gegebenen Zahlen *a priori* zu schlieſsen, welches die beste Anwendung der Hölzer in der Praxis sey. Diese Anwendung ist nämlich oft abhängig von der Steife derselben, von ihrem Widerstande gegen Compression und Torsion, von ihrer Härte, ihrem Gefüge u. s. w., und vor allem von ihrer Dauerhaftigkeit. Wir müssen auch daran erinnern, daſs unsere Versuche nur mit Bäumen aus den Vogesen angestellt wurden, es also auch nur Hölzer von dieser Herkunft sind, auf welche unsere Resultate strenge Anwendung finden.

Die Acacie besitzt in dieser Beziehung die ausgezeichnetsten Eigenschaften. Sie vereinigt die stärkste Cohäsion, den gröſsten Elasticitätscoëfficienten, und die gröſste Elasticitätsgränze mit der gröſsten Härte und gröſsten Dauerhaftigkeit. Ihr Holz, bisher noch von sehr eingeschränktem Gebrauch, könnte also in vielen Fällen, z. B. für Eisenbahnschwellen, sehr nützlich angewandt werden, besonders wegen ihres schnellen Wachsthums und leichten Fortkommens in den meisten Bodenarten. Es könnte an den Seiten und öden Einfassungen dieser Bahnen angebaut werden, also an den Orten selbst, wo es später verbraucht wird.

Das Tannenholz (*sapin distique*) kommt nach dem Acacienholz, was Gröſse des Elasticitätscoëfficienten betrifft; seine Cohäsion, obgleich geringer als bei mehren anderen Gattungen, ist dennoch stark genug, daſs seine Anwendung sehr vortheilhaft wird, allemal wenn es sich darum handelt, einen groſsen elastischen Widerstand bei einem Stücke von verhältniſsmäſsig geringem Gewichte zu haben; dagegen machen seine geringe Elasticität und Cohäsion im Sinne des Radius und in dem der Tangente es weniger geeignet, dem Abreiſsen und der transversalen Compression zu widerstehen. Da übrigens die Tannen ihre stärksten Holzfasern in der Nähe des Umfangs haben, so müſste man sie wo möglich als Bäume in ihrer

Digitized by Google

natürlichen Form anwenden und nicht viereckig behauen, wie man gewöhnlich thut. Aus demselben Grunde sind die aus der Nähe des Umfangs geschnittenen Bretter und Bohlen auch die besseren, und wenn man der Mitte nach gespaltene Hölzer anzuwenden hat, ist es vorzuziehen, sie so anzubringen, daſs die gröſste Kraft auf den äuſseren Theil ausgeübt wird.

Das Eichenholz besitzt die Eigenthümlichkeit, daſs es ohne für irgend eine der mechanischen Eigenschaften die höchste Zahl zu zeigen, es dennoch alle in einem sehr starken Grade in sich vereinigt. Diese Gesammtheit von Eigenschaften macht es fast zu allen Anwendungen gleich gut geeignet und erklärt die wichtige Rolle, welche es in der Praxis spielt. Der Vorzug, welchen man dem Kernholz vor dem Splint, und dem Holz vom Fuſs vor dem vom Wipfel giebt, ist bei der Eiche vollkommen begründet, weil in diesen Theilen die mechanischen Eigenschaften ihr Maximum erreichen. Fügen wir noch hinzu, daſs, nach unseren Versuchen, das Holz von jungen Bäumen, bei gleicher Dicke, stärker ist als das von alten, und daſs ebenso das Holz von *Quercus pedunculatus* stärker ist als das von *Quercus robur*.

Hagebuche, Buche und Birke haben Elasticitätscoëfficienten wenig höher oder gleich denen der beiden Arten von Eichen, aber ihre Cohäsion ist viel schwächer, und ebenso, die Buche ausgenommen, ihre Elasticitätsgränze. Diese Bäume sind besonders merkwürdig wegen ihrer groſsen Elasticität und groſsen Cohäsion in senkrechter Richtung auf die Fasern. In dieser Beziehung könnten sie bei Eisenbahnen von guter Anwendung seyn, besonders wenn es gelänge, sie ohne Nachtheil für ihre mechanischen Eigenschaften zu conserviren. Diese Stärke in den Querrichtungen macht sie auch sehr geschickt zu Radzähnen, und die Reihe, nach welcher die Practiker sie in dieser Beziehung ordnen, stimmt mit den Werthen ihrer Cohäsion in Richtung des Radius.

Digitized by Google

Die Fichte (*Pinus sylvestris*) giebt schwächere Zahlen als alle übrigen Gattungen, die Pappel ausgenommen. Dieſs hat uns um so mehr gewundert, als die Fichte, was wenigstens die Elasticität betrifft, im Allgemeinen für gleich und zuweilen gar für besser als die Tanne gehalten wird. Ehe man aber diese Zahlen als wahren Ausdruck der mechanischen Eigenschaften der vogesischen Fichten betrachten kann, wäre es nothwendig, neue Versuche mit Bäumen dieser Art im Ganzen anzustellen. Wir haben nämlich in den Wäldern, aus denen wir unsere Bäume nahmen, nur vereinzelte, sehr rasch aufgeschossene Individuen angetroffen, und die Forstverwaltung verweigerte uns, einen Baum aus dem in unserer Nachbarschaft befindlichen schönen Hochwald von Fichten zu fällen, was uns die Anstellung eines vergleichenden Versuchs erlaubt haben würde.

Von jeder der übrigen Gattungen haben wir nur Einen Baum untersucht, und zwar in einigen Fällen nur einen von geringem Alter oder Durchmesser. Daher begnügen wir uns, die gefundenen Zahlen zu geben, ohne bei ihnen practische Betrachtungen erheben zu wollen, desto mehr, als einige der Resultate, z. B. die Cohäsion des Espenholzes, in Widerspruch stehen mit den hergebrachten Ansichten über den relativen Werth dieser Gattungen. Abgesehen von dieser Zahl für die Espe kann man diese Gattungen, ihren mechanischen Eigenschaften nach, folgendermaſsen ordnen: Ulme, Esche, Sycomore, Erle, Espe, Ahorn, Pappel.

Folgerungen.

Aus der Gesammtheit unserer Versuche glauben wir folgende Schlüsse ziehen zu können:

1. Die Werthe der Elasticitätscoëfficienten und Schallgeschwindigkeiten fallen, aus den Schwingungen abgeleitet, höher aus als aus den Verlängerungen. Die Verhältnisse der von beiden Methoden gelieferten Zahlen sind nahe gleich für Bäume derselben Species, wie auch der

Digitized by Google

Feuchtigkeitszustand derselben seyn möge. Mittelst ihrer kann man den wirklichen Elasticitätscoëfficienten aus der Schallgeschwindigkeit, und umgekehrt diese aus jenem, finden.

2. Die durch Belastungen im Sinne der Fasern erzeugten Verlängerungen bestehen aus einem elastischen Theil, welcher sehr nahe den Belastungen proportional ist, und aus einem bleibenden Theil, der selbst bei relativ kleinen Lasten meſsbar ist und dessen Gröſse nicht allein mit der Belastung, sondern auch mit der Zeit der Wirkung dieser variirt.

3. Dieſs Gesetz gilt auch für die Pfeile, welche selbst sehr starke Werkstücke annehmen, wenn sie, mit ihren Enden auf Stützen ruhend, in der Mitte durch allmälig vergröſserte Gewichte belastet werden.

4. Die durch Biegung eines Stumpfes von 2 Meter Länge gefundenen Elasticitätscoëfficienten stimmen im Allgemeinen wohl mit den mittleren Coëfficienten, welche Versuche über die Verlängerung einer groſsen Zahl von aus diesem Stumpfe geschnittenen Latten ergeben. Diese Uebereinstimmung zeigt sie jedoch nicht bei den harzigen Bäumen; die Pfeile dieser sind immer weit gröſser als sie zufolge der Verlängerung der Latten seyn müſsten.

Wenn die Stücke eine sehr beträchtliche Länge gegen ihren Querschnitt haben, kommen die durch Beugung erhaltenen Zahlen immer denen nahe, welche durch Verlängerung gefunden werden, von welcher Natur der Baum übrigens seyn möge.

5. Latten, genommen aus denselben Jahresschichten an verschiedenen Stellen, aber in gleicher Höhe, zeigen wohl einige Unterschiede in ihren mechanischen Eigenschaften, ohne daſs aber zwischen den beobachteten Verschiedenheiten und der ursprünglichen Lage der Latten in dem Baum eine Beziehung zu den Weltgegenden stattfände.

6. Im Allgemeinen nimmt die Dichtigkeit mit der

Digitized by Google

Austrocknung zu und proportional derselben. Bezeichnet man mit d und d' die Dichtigkeiten für die Feuchtigkeiten h und h' (h gröſser als h' angenommen), und mit c den Coëfficient der Dichtigkeitsveränderung für einen Wasserverlust von 1 Proc., und setzt man $h - h' = H$, so hat man

$$d' = d(1 - cH)$$

Die Schallgeschwindigkeit wächst mit der Austrocknung und proportional dieser. Sind v und v' die Schallgeschwindigkeiten für die Feuchtigkeiten h und h', und ist c der Coëfficient der Veränderung der Schallgeschwindigkeit für einen Wasserverlust von 1 Procent, so hat man

$$v' = v(1 + c'H)$$

Der Elasticitätscoëfficient nimmt zu mit der Austrocknung gemäſs der Formel

$$E' = E(1 - cH)(1 + c'H)^2$$

Die relativen Werthe von c und c' sind für alle den Versuchen unterworfenen Hölzer der Art, daſs E' zugleich mit H wächst.

Die Elasticitätsgränze steigt und das Verlängerungsmaximum nimmt ab mit der Austrocknung (wir nehmen hier diese beiden Eigenschaften in ihrer üblichen Bedeutung).

Die Cohäsion nimmt fast in allen Fällen mit den successiven Wasserverlüsten zu und in einem ziemlich starken Verhältniſs; allein sie ist, vermöge ihrer Natur, zu veränderlich, als daſs man dieses Resultat dem Calcul unterwerfen könnte. Ist die Austrocknung künstlich bis zu einem Rückhalt von 10 Proc. Wasser getrieben, so wird das Holz so brüchig, daſs es nicht mehr möglich ist, Versuche über das Abreiſsen mit einiger Genauigkeit anzustellen.

7. Bei der Tanne, jeden Alters, bei der Fichte, Hagebuche, Esche, Ulme, Ahorn, Sycomore, Espe und Erle, zum Theil auch bei der Acacie nehmen die mechanischen Eigenschaften constant und zuweilen in sehr starkem Verhältniſs vom Mittelpunkt zum Umfang zu. Bei den har-

Digitized by Google

zigen Hölzern und im Allgemeinen bei denjenigen Arten, deren Schichten immer für Flüssigkeiten durchdringlich bleiben, scheint diese Zunahme vom Alter unabhängig zu seyn. Bei alten Eichen und Birken folgen die Eigenschaften einem umgekehrten Gang, d. h. nachdem sie bis zum Drittel des Radius zugenommen haben, nehmen sie bis zum Umfang ab. Bei der Buche endlich zeigen junge Bäume den aufsteigenden Gang, ältere den absteigenden; dieſs scheint darauf hinzudeuten, daſs bei Bäumen, deren ältere Schichten verschwinden, um Kernholz zu bilden, diese Umwandlung den Gang der Eigenschaften abändert.

8. Bei jedem einzelnen Jahresring nehmen die mechanischen Eigenschaften mit der Höhe des Baumes ab; eben so verhält es sich mit den Richtungen senkrecht auf die Axe.

Für den ganzen Stamm zeigt sich Abnahme mit der Höhe nur bei den Gattungen, deren schwächste Schichten am Umfang liegen, und dieſs ist wirklich bei der Eiche der Fall. Bei andern Gattungen aber kann Abnahme, Beständigkeit und Zunahme stattfinden, je nach den Verhältnissen zwischen dem Gesetz der Abnahme vom Mittelpunkt zum Umfang und dem Gesetz der Zunahme in den Schichten von unten nach oben. Indeſs sind die Fälle der Abnahme mit der Höhe im Allgemeinen die häufigeren.

9. Die Verhältnisse zwischen Elasticität und Cohäsion sowohl im Sinne der Fasern als in dem des Radius und der Tangente schwanken nicht merklich mit der Höhe in einem selben Baum, noch in Bäumen derselben Gattung, wohl aber, wenn man die verschiedenen Gattungen unter einander vergleicht. Wenn man die mittleren Elasticitätscoëfficienten und Cohäsionen im Sinne der Axe als Einheiten nimmt, findet man durchschnittlich für die Elastitätscoëfficienten im Sinne des Radius und der Tangente der Bäume: 0,165 und 0,091, und für die Cohäsionen in diesen beiden Richtungen: 0,163 und 0,159.

10. Zwischen der Dichtigkeit der Bäume und ihrem

Digitized by Google

Alter, der Dicke ihrer Schicht, der Stellung gegen die Himmelsgegend, und der Natur des Bodens bemerkt man kein regelmäſsiges Verhältniſs.

11. Die Zeit des Fällens der Bäume scheint auf die mechanischen Eigenschaften derselben nicht einzuwirken.

12. Elasticitätscoëfficient und Cohäsion nehmen in dem Maaſse ab, als das Alter der Bäume zunimmt.

13. Die relative Dicke der Schichten kann nicht als erste Ursache der Unterschiede betrachtet werden, die in einem selben Baume und auch zwischen Individuen vorkommen. Bei der Tanne freilich geht das Dünnerwerden der Schichten oft im gleichen Sinne mit der Zunahme der Eigenschaften vom Mittelpunkt zum Umfang; allein diese Zunahme bleibt auch im gegentheiligen Falle merklich.

14. Hölzer, gewachsen auf der Nord-, Nordost- oder Nordwestseite, oder auf trocknem Boden, haben im Allgemeinen einen höheren Elasticitätscoëfficienten, desto mehr, wenn beide Umstände vereinigt waren, während Bäume aus sumpfigem Boden schwächere Coëfficienten darbieten. Diese Einflüsse sind besonders bei der Buche am merkbarsten.

15. Die Buchen vom Vogesensandstein zeigen eine höhere Elasticität als die vom bunten Sandstein und Muschelkalk.

16. Bei einem und demselben Baume befolgen die verschiedenen mechanischen Eigenschaften fast immer einen parallelen Gang. So zeigt die dichteste Schicht gewöhnlich die gröſste Schallgeschwindigkeit, den höchsten Elasticitätscoëfficienten und die stärkste Cohäsion; allein dieſs Verhältniſs, welches schon in einem selben Baum zu wenig constant ist, um durch eine Formel ausgedrückt zu werden, findet sich beim Vergleiche verschiedener Bäume derselben Art nur selten wieder, und bei Bäumen verschiedener Natur verschwindet es ganz.

Digitized by Google

VI. *Ueber die Schallschwingungen des Wassers; von Hrn. W. Wertheim.*

(*Compt. rend. T. XXIV, p.* 656.)

Die Gesetze der Schallschwingungen der Flüssigkeiten können als unbekannt betrachtet werden. Freilich weiſs man, daſs Flüssigkeiten den Schall gut leiten, weiſs überdieſs durch die Versuche des Hrn. Cagniard de Latour, daſs Töne im Wasser erzeugt werden, wenn man demselben durch starre Körper eine Reihe regelmäſsiger Stöſse ertheilt, und daſs das Wasser beim Hervortreten aus einer engen Oeffnung einen pfeifenden Ton erzeugt, welcher sich einer flüssigen Säule mittheilen läſst und je nach der Höhe dieser Säule gewisse Abänderungen anzunehmen vermag. Savart hat die das Ausflieſsen der Flüssigkeiten begleitenden Pulsationen studirt, sowie auch die Veränderungen, welche die Gestalt des Wasserstrahls durch Wirkung von Tönen erleidet.

Aber diese Versuche können weder zur Kenntniſs der einem gewissen Flüssigkeitsvolum eigenen Töne führen, noch zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, noch zur Bestätigung der durch Analyse aufgefundenen Gesetze dieser Schwingungen. Um diese Lücke auszufüllen, habe ich versucht, für Flüssigkeiten das Mittel anzuwenden, welches sich für Luft und Gase so brauchbar erwiesen hat.

Ich bediente mich dazu einer messingenen Orgelpfeife mit weitem Mundstück und aus drei aneinander schraubbaren Theilen bestehend, jeder von 0,33 Meter Länge. Man hat somit zu einem selben Mundstück drei Pfeifen von verschiedener Länge, und Hrn. Marloye ist es gelungen, sie so zu construiren, daſs sie in Luft den Grundton und seine harmonischen Töne leicht angeben. Der Fuſs dieser Pfeife ist mit einem Hahn versehen, um den Luftstrom zu reguliren. Diese Vorrichtung hat den Vor-

theil, daſs, wenn man die den Grundtönen der drei Längen entsprechenden Schwingungsmengen zu je zwei combinirt, man zugleich den Einfluſs des Mundstücks und die Fehlerquelle eliminiren kann, welche daraus entspringt, daſs der Bauch der Schwingung nicht genau am Ende der Pfeife, sondern ein wenig davon entfernt liegt. Nimmt man Rücksicht auf diese Berichtigung, welche gleich ist für die drei Längen, so kann man die Schallgeschwindigkeit in Luft mit mehr Genauigkeit bestimmen als es bisher mittelst Orgelpeifen geschehen ist. Die Resultate der von uns bei verschiedenen Temperaturen angestellten Versuche, auf 0° reducirt, geben eine Geschwindigkeit von 330 bis 332 Meter, welche fast genau mit der durch directe Beobachtung gefundenen übereinstimmt.

Dieselbe Pfeife wurde in einen groſsen Behälter voll Wasser getaucht, und, nachdem alle Luftblasen ausgetrieben worden, mit einer Druckpumpe in Verbindung gesetzt.

Der Wasserstrom tritt zum Windloch aus und setzt die Säule in Schwingung. Anfangs hört man nur ein unbestimmtes Geräusch, aus dem Mundstück kommend, allein bald wird dieses ersetzt durch einen deutlichen, starken und für einen gleichen Druck beständigen Ton. Vergröſsert man den Druck, so verschwindet dieser Ton, und einen Augenblick hernach giebt die Pfeife die obere Octave des vorigen Tons. Mit der ersten Länge von $\frac{1}{3}$ Meter konnte ich nur den Grundton hervorbringen; mit der Länge von $\frac{2}{3}$ Meter erhielt ich den Grundton und seine Octave, und endlich mit der ganzen Länge von 1 Meter konnte ich bis zum Ton 3 (zwei höhere Octave) gehen; allein bemerkenswerth ist, daſs im Wasser dieser Ton 3 beständig vor dem Ton 2 entstand, während in Luft das Umgekehrte stattfindet.

Durch Bestimmung der Schwingungsmenge, die jedem der erzeugten Töne entsprach, fand man:

1. Daſs die Töne einer selben Wassersäule in offnen Pfeifen die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3 befolgen.

Digitized by Google

2. Daſs die Schwingungsmengen von Säulen verschiedener Länge sich nahe umgekehrt wie diese Längen verhalten.

3. Daſs man, bei Berücksichtigung der schon für Luft angegebenen Berichtigung, die Schallgeschwindigkeit in Wasser auf diese Weise bestimmen kann. Die Geschwindigkeit, welche ich sonach erhalten, ist viel geringer, als die von Hrn. Colladon durch directe Beobachtung gefundene. Allein da es scheint, daſs der Grundton mit der Gröſse des Windlochs sich in sehr groſsem Umfange verändert, und die Länge meiner Pfeifen in Bezug auf ihren Durchmesser nicht sehr beträchtlich war, so kann ich diese Frage erst nach einem vollständigen Studium dieser Erscheinungen entscheiden.

Ich will noch bemerken, daſs wenn man die Pfeife auſserhalb des Wassers hält, sie aber mittelst einer Wasserschicht ertönen läſst, man Töne erzeugt viel tiefer als der Grundton, den man erhält, wenn man sie mittelst einer Luftschicht ansprechen läſst.

Wie ich hoffe wird diese Methode dazu dienen, die Schallschwingungen, die Lage der Knoten und Bäuche, so wie die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen genau zu studiren, und endlich mehre bisher durch die Analyse nicht angreifbare Probleme zu lösen. Es sind dieſs Untersuchungen, die mich gegenwärtig beschäftigen, und deren Resultat ich mich beehren werde dem Urtheile der Academie zu unterwerfen.

Digitized by Google

VII. *Ueber die optiſchen Erſcheinungen, zu welchen die Wolken von Eistheilchen Anlaſs geben; von Hrn. A. Bravais.*

(*Compt. rend. T. XXIV, p.* 962.)

Der Aufsatz, welchen ich die Ehre habe der Academie vorzutragen, handelt von den Ringen, Nebensonnen und anderen Meteoren gemeinschaftlichen Ursprungs. Er umfaſst das Studium unter drei verschiedenen Gesichtspunkten, giebt: methodische Beschreibung dessen, was beobachtet worden ist; kritische Geschichte der früheren Erklärungen, und endlich rationelle Theorie dieser Erscheinungen, gegründet einerseits auf Beobachtungen und andererseits auf die physikalischen und krystallographischen Kennzeichen des Schnees.

Der beschreibende Theil umfaſst etwa 150 Beobachtungen, von denen 24 dem siebzehnten Jahrhundert angehören und die übrigen neuer sind. Die einfachen Ringe, welche so häufig sind, daſs sie sich nicht zählen lassen, so wie die in 22° Abstand vom Gestirne liegenden Nebensonnen und Nebenmonde, die auch noch zu häufig vorkommen, habe ich nicht mit in die Liste aufgenommen. Die verschiedenen, von den Beobachtern angegebenen Formen lassen sich auf folgende Typen zurückführen: Ring (*Halo*) von 22°, Nebensonnen (*parhélies*) von 22°, Lowitz's schiefe Bögen, von den Nebensonnen zum Ringe gehend, gewöhnliche Berührungsbögen der Ringe von 22°, sowohl obere als untere, elliptischer Ring, umschrieben um den Ring von 22°, Ring von 46°, horizontale Berührungsbögen des Ringes von 46°, seitliche Berührungsbögen des Ringes von 46°, Nebensonnenkreis (*cercle parhélique*), Nebensonnen in etwa 45° Abstand von der Sonne, ungewöhnliche Berührungsbögen des Ringes von 22°, ungewöhnliche Ringe mit Radien von 5°,

14?, 19?, 28?, 35? und 90? Grad, ungewöhnliche, ihnen entsprechende circumzenitale Bögen, weiſse Nebensonnen oder Nebengegensonnen (*paranthélies*) in 120° Abstand vom Gestirn, Nebensonnen in etwa 100° Abstand, schiefer Kreis, von Hall gesehen, senkrechte Säulen beim Aufgang oder Untergang erscheinend, Kreuz an Sonne und Mond, Trugsonnen (*faux-soleils*), gesehen von Rothmann und Cassini in Berührung mit der wahren Sonne, endlich Gegensonne (*anthélie*) und die im Andreaskreuz (*sautoir*) durch sie hingehenden Bögen.

Mit groſser Sorgfalt habe ich alle Thatsachen gesammelt, welche beweisen, daſs das Substrat dieser Erscheinungen eine eisige Wolke (*nuage glacé*) ist. Die Beobachtungen von Verdries, Gmelin, Scoresby, Parry, Brandes, Galle, Kämtz und Langberg lassen in dieser Hinsicht keinen Zweifel übrig. So hat Langberg einen Ring (*Halo*) sich auf einem Schneefeld bilden sehen, fast ebenso wie man zuweilen den Regenbogen auf Thautropfen kurz nach Sonnenaufgang erblickt [1]).

Ich habe alle von Huygens, Mariotte, Cassini, Thomas Young, Venturi, Fraunhofer, Brandes und den HH. Babinet und Galle ausgesprochenen Ansichten über die Ringe erörtert. Die Erklärungen sind zuweilen sehr zahlreich; die Nebensonne von 46° z. B. ist auf sechserlei Weisen erklärt. Trifft man unter diesen verschiedenen Meinungen eine zweckmäſsige Auswahl, so hat man schon einen groſsen Schritt zur vollständigen Theorie des Meteors; allein die seitlichen tangirenden Bögen des Ringes von 46°, die Nebensonnen von 46°, die ungewöhnlichen circumzenitalen Bögen, die weiſsen Nebensonnen, der Hall'sche Kreis, die senkrechten Säulen, die Kreuze, die Trugsonnen, die Gegensonnen, die Andreaskreuz-Bögen der Gegensonne bleiben noch ohne genügende Erklärung. Meine Arbeit wird, hoffe ich, diese Lücke genügend ausfüllen.

1) Ann. Bd. 60, S. 151.

Digitized by Google

Um methodisch an die Analyse eines so verwickelten Phänomens zu gehen, habe ich zuvörderst die allgemeinen Gesetze der Beleuchtung der Atmosphäre durch geometrisch ähnliche und ähnlich beleuchtete Körperchen in Formeln gebracht. Als Ausgangspunkt habe ich darauf ein System von Prismen mit verticalen Axen genommen; wenn die diesem Fall entsprechenden Lichtphänomene gehörig analysirt sind, lassen sich daraus die übrigen verwickelteren Fälle ohne groſse Schwierigkeiten ableiten. Die Theoreme, auf welche sich diese Analyse stützt, sind Corolle der beiden folgenden.

1. Der Sinus des Winkels, welchen der einfallende Strahl mit jeder die Normale der Eintrittsfläche enthaltenden Ebene macht, verhält sich zum Sinus des Winkels, den der gebrochene Strahl mit derselben Ebene macht, wie der Brechungsindex zur Einheit.

2. Die Projection des Lichtstrahls auf jede Ebene, welche die Normale der brechenden Fläche enthält, durchdringt diese Fläche gemäſs dem Cartesischen Gesetz, wenn das Brechvermögen ($l^2 - 1$) des zweiten Mittelpunkts multiplicirt wird mit dem Quadrat der Secante des Winkels, welchen der einfallende Strahl mit seiner Projection macht.

Die Reflexion des Lichts giebt Anlaſs zu Theoremen gleicher Art, die sich aus den vorherigen ergeben, wenn man den Index l gleich -1 setzt.

Die Erscheinungen, welche von Prismen mit senkrechten Axen abhängen, können nachgeahmt werden mittelst eines Wasserprismas mit senkrechter Axe, das von drei senkrechten, unter 60° zusammenstoſsenden Glasplatten eingeschlossen ist. Läſst man dieses Prisma rasch um sich selbst drehen und ein Bündel Sonnen- oder Lampenlicht auf dasselbe fallen, so erzeugt man: 1) die beiden Nebensonnen mit den sie begleitenden, von der Sonne abgewandten Schweifen; 2) die beiden (durch die Sonne gehenden und dem Horizonte parallelen) Nebensonnenkreise, welche in der Natur einander überdecken und von

denen der eine aus einer äuſseren Reflexion, der andere aus zwei durch eine innere Reflexion getrennten Refractionen entsteht (wie der Hauptregenbogen); 3) farbige Nebensonnen, welche in 98° Abstand von der Sonne durch die Strahlen gebildet werden, welche zwei Refractionen und zwei innere Reflexionen erlitten haben. Man kann sogar die 142° von der Sonne entfernte Nebensonne erzeugen, eine Nebensonne, die aus den viermal inwendig an den senkrechten Flächen reflectirten Strahlen entsteht, aber ein zu schwaches Licht besitzt, als daſs sie jemals in der Atmosphäre wahrgenommen werden könnte.

Fallen die Sonnenstrahlen auf die obere Grundfläche des Wasserprisma, unter einem Winkel von 15 bis 20° gegen diese Fläche, so sieht man den horizontalen Bogen entstehen, der in der Natur 46° über dem Gestirn liegt. Dieser Bogen ist strenge kreisrund und concentrisch zu dem Zenit.

Derselbe Apparat kann zur Hervorbringung der Gegensonne dienen. Man braucht dazu das dreiseitige Prisma nur durch eine viereckige Glastafel zu ersetzen und dieselbe um einen ihrer senkrechten Ränder rotiren lassen. Sind Striche auf die Flächen dieser Tafel gezogen, so ist diese künstliche Gegensonne von zwei symmetrisch im Andreaskreuz liegenden Bogen durchschnitten.

Die in 120° Abstand von der Sonne liegenden Nebensonnen erklären sich auf verschiedene Weise, und scheinen hauptsächlich von geriefelten Prismen herzurühren, z. B. von Prismen, deren Querschnitt zwei concentrische und mit einander abwechselnde gleichseitige Dreiecke (einen sechsseitigen Stern) darstellen. Ich habe die verschiedenen Bildungen dieser Nebensonnen für den Fall zweier Reflexionen und für den zweier Refractionen untersucht; wenn die Zahl der Reflexionen ungerade ist, entsteht keine Nebensonne. Dieser Theil der Aufgabe läſst sich auch unter eine gewisse Zahl allgemeiner Theoreme bringen.

Digitized by Google

Um die Data der Rechnung mit denen der Beobachtung zu vergleichen, habe ich den Brechungsindex des Eises für die verschiedenen Farben des Spectrums gemessen. Die Uebereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung ist mit diesen Indexen im Allgemeinen sehr genügend. Es hat mir nicht geschienen, daſs man eine der beiden von Hrn. Galle gemachten Hypothesen bedürfte, nämlich 1) daſs der Refractionsindex der erzeugenden Krystalle gröſser sey als der des Eises, und 2) daſs die innerste Zone des Ringes von 22° ihr Licht von unter 59° 21′ zusammenstoſsenden Abstumpfungsflächen des sechs- oder dreiseitigen Prismas bekomme.

Kurz die Erklärung der verschiedenen Theile des Meteors scheint mir folgende zu seyn:

Der Ring von 22° rührt her von Flächenwinkeln von 60° bei Prismen, die keine besondere Art der Orientirung darbieten.

Die Nebensonne von 22° wird von denselben Winkeln erzeugt, wenn die Axen der Prismen senkrecht stehen.

Der circumzenitale Berührungsbogen des Ringes von 46° entsteht durch die Winkel von 90° an diesen Prismen mit senkrechten Axen.

Nehmen diese Prismen unbestimmte Richtungen an, so bildet sich durch diese selben Winkel ein Ring von 46° Radius.

Der obere und der untere Berührungsbogen des Ringes von 22° werden erzeugt durch die Winkel von 60°, wenn die Axen der Prismen horizontal liegen. Die Prismen, deren Axen ihren Fluchtpunkt 90° von der Sonne zu liegen haben, bilden den hellsten Theil dieser Bogen. Steht die Sonne hinreichend hoch, so vereinigen sich diese Bögen zu einer einzigen Curve, zu einem elliptischen Ringe mit kleiner senkrechter Axe, umschrieben um den Ring von 22°.

Die seitlichen Berührungsbögen des Ringes von 46° werden erzeugt durch Winkel von 90° an Prismen mit

horizontalen Axen. Unter diesen Prismen geben diejenigen, deren Fluchtpunkt der Axen auf der Himmelskugel in 67° 52′ von der Sonne liegt, Veranlassung zu dem hellsten und dem Ringe von 46° nächsten Theile des Bogens.

Der Nebensonnenkreis entsteht aus der Reflexion an den senkrechten Flächen der Prismen, deren Axen horizontal oder vertical sind.

Die Nebensonne von 45° scheint *meistens* eine secundäre zu seyn, gebildet durch die Nebensonne von 22°.

Die ungewöhnlichen Ringe, die ungewöhnlichen circumzenitalen Bögen rühren von den Zuspitzungsflächen her, mit welchen die Prismen zuweilen versehen sind. Die Gleichungen dieser Bögen sind merkwürdig und beweisen, daſs die Zweige, aus denen sie bestehen, von einem Ende zum andern auf- oder absteigend sind, was bei den Berührungsbögen des Ringes von 22° nicht der Fall ist.

Die verschiedenen Umstände des 1796 von Hall gesehenen Ringes erklären sich durch Prismen mit verticaler Axe und einer oberen Zuspitzung, deren Flächen einen Winkel von 70° 32′ mit der krystallographischen Axe bilden.

Die auf dem Nebensonnenkreise in verschiedenem Abstande von der Sonne liegenden Nebensonnen entspringen aus sternförmigen Sechs- oder Zwölfecken verschiedener Arten.

Die senkrechten Säulen über der Sonne bei ihrem Aufgang entspringen aus *äuſserer* Reflexion der Strahlen an der *unteren* Grundfläche, oder aus einer *inneren* an der *oberen* Grundfläche von Prismen mit senkrechter Axe, welche Prismen übrigens kleinen Schwankungen um die Verticale ausgesetzt sind.

Die Strahlen, welche 3, 5 und 7 Reflexionen derselben Art abwechselnd an der oberen und unteren Grundfläche von 3, 5 und 7 solcher nicht unter sich verknüpfter Prismen erleiden, tragen bei, den Glanz so wie die Länge dieser Lichtsäule zu vergröſsern.

Digitized by Google

Die Strahlen, welche 2, 4 und 6 Reflexionen derselben Art erleiden, geben Anlaſs zu verticalen Lichtscheinen mit gleichem oberen und unteren Arme, welche das Gestirn bis zu einer Höhe von 20 bis 25° über dem Horizont auf seiner Bahn begleiten. Wenn diese Lichtscheine sich mit einem Stücke des Nebensonnenkreises combiniren, veranlassen sie das Phänomen des Kreuzes.

Die Trugsonnen von Rothmann, Bouguer, Cassini, Malezieu erklären sich durch verticale oder fast verticale Prismen mit fast horizontalen, um 89° 53′ gegen die Axe geneigten Zuspitzungsflächen und durch Strahlen, die nach dem Eintritt durch eine der senkrechten Flächen zwei Mal an den inneren Flächen des Winkels von 179° 46′ reflectirt wurden, und darauf durch die der Eintrittsfläche gegenüberstehende verticale Fläche austraten.

Die Gegensonne rührt her von Krystallen mit horizontaler Axe, deren verticale Grundflächen eine ihrer drei verticalen Diagonalen haben. Die Flächen, die, unter einem Winkel von 90°, Kanten parallel mit dieser Diagonale bilden, erzeugen dann die Gegensonne. Besitzen die Grundflächen Furchen (*stries d'accroissement*), so kann die Gegensonne von Bögen im Andreaskreuz durchschnitten seyn. Ich zeige, daſs diese Furchen existiren können, und daſs sie mit dem Horizonte Winkel von 0, 30, 60 und 90 Grad bilden müssen.

Bei Zusammenstellung der kleinen Zahl von Thatsachen endlich, die Auskunft geben können über den Werth des Kantenwinkels am primitiven Rhomboëder des Eises, gelangte ich zu dem Resultat, daſs dieser Winkel ganz füglich 90° betragen oder sehr wenig vom rechten abweichen könnte.

Digitized by Google

VIII. *Ueber die sogenannten Regenflecke auf den Gebirgsseen; von F. Simony.*

(Aus den Berichten über die Mittheilungen von Freunden der Naturwissenschaften in Wien. Bd. 1, S. 28. [Wien 1847.])

Hr. S. hat das Phänomen der sogenannten Regenflecke auf den Gebirgsseen mehrere Jahre hindurch zu allen Monaten und Tageszeiten, so wie unter allen Temperatur-Verhältnissen (nur strenge Winterkälte ausgenommen) häufig beobachtet. Nach seinen Angaben zeigt sich dasselbe ſast jedesmal kurz vor eintretendem mehrtägigen Regenwetter, oder auch im Verlauſe desselben, und zwar am vollständigsten ausgebildet unmittelbar während eines Regens bei Windstille. Da entstehen auf der schimmernden Oberfläche des Sees (nur selten zeigt dieser einen vollständig ruhigen Spiegel, sondern befindet sich fast immer in einer, wenn auch dem Auge im Einzelnen nicht erkennbaren Oscillation, durch welche der Spiegelglanz des Wassers und dessen natürliche schwarzgrüne Farbe immer mehr oder weniger gebrochen erscheint) oft plötzlich, oft wieder nur allmälig stellenweise schwarzgrüne, beinahe fettglänzende Flecke von verschiedenen Dimensionen und Formumrissen, die inmitten der schimmernden farblosen Fläche gerade wie zerflossene Massen ausgegossenen Oeles aussehen. Die Formen der Flecke sind sehr verschieden, mehr und minder rund, oder länglich, oft buchtig, oft bilden sie lange gerade oder gewundene Streifen, die bald dem Längenverlauſe des Sees folgen, bald denselben quer oder in Diagonalen durchziehen. Die Dimensionen wechseln von einigen Fuſs bis zu mehreren hundert Klaftern Länge und Breite. Dem Vorkommniſsorte nach sind die Flecke nicht fixirt, sie zeigen sich bei jedesmaliger Bildung auf andern Stellen und in veränderten Umrissen, bald mehr, bald minder häufig, bald ganz

vereinzelt, bald in verschiedene Gruppen zusammengereiht, bald wieder regellos zerstreut. Besonders auffallend erscheint ihr manchmal stundenlanges Verharren an einer Stelle und die zeitweise Stetigkeit ihrer Gestalt. Werden sie von einem fahrenden Kahne durchschnitten, so flieſsen ihre scharf von der schimmernden Hauptoberfläche abgegränzten Ränder, die durch den Ruderschlag und das durchfahrende Schiff partiell zerstört wurden, sehr schnell und meist wieder genau in der vorigen Form zusammen. Unter solchen Umständen vermag oft nur ein aufmerksames Auge die langsame Umstaltung der Flecke, ihre allmälige Gröſsenabnahme, ihr Verschwinden und Wiedererscheinen zu beobachten. Sobald eine fühlbare gleichmäſsige Luftströmung über der Seefläche eintritt, sobald das Wetter sich ändert, oder selbst, wenn nur für kurze Zeit die Sonne durch die Regenwolken bricht und den See beleuchtet, hört das wechselvolle Spiel dieser sonderbaren Erscheinung auf; oft genug verschwindet die letztere aber auch ohne alle äuſsere sichtbare Veranlassung, und der See erscheint plötzlich wieder spiegelglänzend oder durchgängig schimmernd, wie vorher.

Es würde schwer fallen, bei einer bloſs vereinzelten Beobachtung für dieses Phänomen eine selbst nur annähernde Erklärung zu finden, wenn man nicht daneben ähnliche Erscheinungen in Betracht ziehen könnte, bei denen Ursache und Wirkung augenfälliger sind. Simony führte eine Reihe von solchen ebenfalls von ihm auf dem Hallstätter See beobachteten Erscheinungen auf, die sich in Beziehung auf äuſsere Form mehr oder minder an die beschriebenen Regenflecke anreihen lassen, und die unwiderlegbar ihre Entstehung bloſs der Wirkung der Luftströmungen zu danken haben, welche letztere vorzüglich in solchen engen, von hohen Gebirgen eingeschlossenen Thälern, wie das Becken von Hallstatt, fortwährenden Aenderungen unterworfen sind und oft auf ganz kleinen Erstreckungen, sowohl in Beziehung auf Richtung und

Digitized by Google

Schnelligkeit der Bewegung, als auch in Beziehung auf Temperaturverhältnisse, eine solche Mannigfaltigkeit und so schnellen Wechsel zeigen, wie man nie im Flachlande zu beobachten Gelegenheit hat, und wie sie sich auch nur auf so leicht beweglichen Flächen, wie Seen, auf denen sich jede, auch noch so leise Luftbewegung nach ihrer Stärke, Richtung, so wie nach ihrem Umfange, kennbar macht, wahrnehmen lassen.

Wenn aber auch aus solchen Aehnlichkeiten geschloſsen werden kann, daſs die *Regenflecke ihr Entstehen den Wirkungen der Luftströmung* zu danken haben, so sind sie damit noch nicht vollständig erklärt. Hierzu gehören mehrfache physikalische Beobachtungen und Untersuchungen, die Simony bisher aus Mangel an den nöthigen Apparaten nicht unternehmen konnte, die er jedoch im Laufe dieses Sommers machen zu können hofft. Schlieſslich sprach er noch die Vermuthung aus, daſs die Entstehung der Regenflecke auf Seeflächen und die Bildung der vereinzelten *Cumulus*-Gruppen in bestimmten Luftebenen auf gleichen, oder doch verwandten Ursachen beruhen dürfte.

IX. *Beitrag zur Eudiometrie;*
von K. Brunner, sen.

(Aus den Mittheil. d. Naturforschend. Gesellschaft in Bern. 1847. August.)

Die bisher beschriebenen eudiometrischen Methoden beruhen im Wesentlichen alle auf dem nämlichen Princip. Aus einer bekannten Menge atmosphärischer Luft wird der Sauerstoff durch eine Substanz, die sich chemisch mit demselben verbindet, weggenommen. In Bezug auf die Art, wie seine Menge bestimmt wird, unterscheiden sie

sich aber darin, daſs nach den einen das Volumen des übrig bleibenden Stickstoffs gemessen, nach den anderen der Sauerstoff aus der Gewichtszunahme, die der zur Aufnahme desselben angewandte Körper erleidet, bestimmt wird. Alle älteren Methoden gehören in die erste, einige der neueren in die letztere Kategorie.

Schon vor mehreren Jahren hatte ich als eudiometrische Substanz fein zertheiltes Eisen, nachher Kupfer angewandt, welche letztere Methode später von Dumas und Andern mit unwesentlichen Abänderungen benutzt wurde. Seither zog ich die Anwendung des Phosphors vor. Verschiedene Gründe bewogen mich, wieder zu der Anwendung des Eisens zurückzukehren, und besonders schien mir das pyrophorische fein zertheilte thonerdehaltige Eisen, dessen Eigenschaften von Magnus zuerst beobachtet wurden, sich hiezu zu eignen. Der Erfolg entsprach vollkommen.

Man bereitet sich zu diesem Ende eine Verbindung von Eisenoxyd und Thonerde durch Auflösen eines Eisensalzes und Alauns in einem solchen Verhältnisse, daſs beim nachherigen Niederschlagen des Eisenoxyds und der Thonerde durch Ammoniak ein Niederschlag erhalten wird, der im geglühten Zustande auf 96 Theile des erstern ungefähr 4 Theile Thonerde enthält. Dieser Niederschlag wird gut getrocknet, fein zerrieben und in einer Glasröhre der reducirenden Einwirkung eines Stromes von getrocknetem Wasserstoffgas ausgesetzt, bei einer Temperatur, die etwas unter der Glühhitze liegt.

Von diesem Niederschlage wird eine hinreichende Menge in eine Glasröhre eingefüllt, diese genau gewogen, auf der einen Seite mit einer zur Hälfte mit angefeuchtetem Aetzkalk, zur anderen mit Asbest, der mit Schwefelsäure getränkt ist, gefüllten Glasröhre, auf der anderen mit einem mit Oel gefüllten Aspirator in Verbindung gesetzt. Durch Ablassen des Oeles in eine genau gemessene Flasche wird die atmosphärische Luft durch

Digitized by Google

den Apparat gezogen, wobei das abgefloſsene Volumen Oel, das Volumen des Stickstoffs, die Gewichtszunahme des Eisens, das Gewicht des Sauerstoffs der zerlegten Luft angiebt.

Die nach dieser Methode angestellten Versuche ergeben eine sehr groſse Uebereinstimmung, so daſs dieselbe bei 0,175 Grammen erhaltenen Sauerstoffs um höchstens 0,002 Gr. schwankt, ein Unterschied, welcher, auf 100 Volumtheile Luft berechnet, ungefähr 0,1 oder 1 *pro mille* beträgt.

Bei dieser Gelegenheit erwähne ich noch eine andere Methode, die, da sie in die Kategorie der älteren Eudiometrie gehört, keiner sehr groſsen Genauigkeit fähig, doch eben so genau wie alle übrigen ist. Sie besteht in Folgendem:

In eine graduirte unten geschlossene Glasröhre gieſst man eine zweckmäſsige Menge einer concentrirten Auflösung von Eisenvitriol, auf diese verdünnte Kalilauge, und miſst nun den übrigen mit Luft gefüllten Raum. Alsdann wird die Röhre mit dem Finger oder mit einer Glasplatte geschlossen und einige Minuten lang stark geschüttelt. Das hierdurch niedergeschlagene Eisenoxydulhydrat nimmt den Sauerstoff vollständig auf und der übrig bleibende Stickstoff kann in der über Wasser umgestürzten Röhre direct gemessen werden.

Dieses Verfahren kann zugleich sehr gut dazu dienen, sich mit Leichtigkeit gröſsere Mengen von Stickstoffgas zu verschaffen.

X. *Notizen.*

1. *Ungewöhnliche Regenfälle in mittleren Breiten.* — Bei einem Versuche, die Entstehung der Stürme zu er-

klären, hat Hr. G. A. Rowell die Maxima der in unseren Breiten beobachteten Regenmengen zusammengestellt, die folgende sind:

Genua	25. Oct.	1822	30 Zoll	in	24	Stund.
Joyeuse	9. Oct.	1827	31 -	-	22	-
Catskil [1]	26. Jul.	1819	18 -	-	$7\frac{1}{2}$	-
Gibraltar	25. Nov.	1826	33 -	-	26	-
Vivres	26. Sept.	1801	$14\frac{1}{2}$ -	-	18	-
Genf	20. Mai	1827	6 -	-	3	-
Neapel	22. Nov.	1826	0,9 -	-	37	Minit.
Perth	3. Aug.	1829	0,8 -	-	30	-

(*Edinb. New. Phil. Journ. Vol. XL*, *p.* 282.) [2]

2. *Tägliche Variation der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus zu Bosekop in Finnmarken*, beobachtet von den HH. Lottin und Bravais.

Astronom. Zeit.	Horiz. Intens. bei ruhigen Tagen.	Horiz. Intens. bei unruhigen Tagen.	Astronom. Zeit.	Horiz. Intens. bei ruhigen Tagen.	Horiz. Intens. bei unruhigen Tagen.
Mittag	1,0012	1,0030	14*h*	0,9987	0,9886
2*h*	1,0028	1,0065	16	1,0000	0,9934
4	1,0036	1,0116	18	1,0024	0,9848
6	1,0050	1,0082	20	1,0020	0,9995
8	1,0043	1,0002	22	1,0010	0,9997
10	1,0008	0,9890	Mittag	1,0012	1,0030
12	0,9982	0,9860	Mittel	1,0017	0,9884

Es sind die Resultate von 67 Beobachtungstagen, zwischen 19. Dec. 1838 und 5. Apr. 1839 (*Compt. rend. T. XXIV*, *p.* 1101).

1) Im nordamerikanischen Staatenverein.

2) Zu Brüssel fielen am 4. Jan. 1839 bei einem sehr heftigen Platzregen in 24 Stunden nur 50 Par. Lin. Ann. Bd. 48. S. 384.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. II. ERGÄNZUNG. St. 4.

I. *Ueber die Reflexion und Doppelbrechung des Lichts durch metallisch undurchsichtige Krystalle; von Hrn. H. de Sénarmont.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Ann. de chim. et de phys. Ser. III., T. XX.*)

---

1) In einer früheren Abhandlung über die Modificationen, welche das polarisirte Licht bei Reflexion an der Oberfläche von Metallen erleidet [1]), habe ich angegeben, daſs gewisse krystallisirte, mit metallischer Undurchsichtigkeit begabte Körper, z. B. Schwefelantimon, eine Wirkung auf das Licht ausüben, welche sowohl etwas von den eigenthümlichen Wirkungen der krystallisirten durchsichtigen Körper, als auch von den gewöhnlichen Wirkungen der Metalle an sich habe. So hatte ich gefunden, daſs die Richtung der Einfallsebene gegen die reflectirende Fläche einen ausgezeichneten Einfluſs auf die Erscheinungen ausübt; allein da es sich um etwas feine Bestimmungen handelte, so begnügte ich mich, die Thatsache anzugeben, ohne schwierige Messungen nach Verfahrungsarten zu unternehmen, deren Unvollkommenheiten ich selber zu jener Zeit mir nicht verhehlte.

Ich nehme nunmehr den Gegenstand nach einer ganz anderen Methode wieder auf; allein da ich genöthigt seyn werde, die Eigenschaften des Lichts, welches an durchsichtigen oder metallischen nicht krystallisirten oder an durchsichtigen krystallisirten Körpern reflectirt worden ist, oft in Erinnerung zu bringen, ich überdieſs die von mir gebrauchte Methode auf einige besondere, bisher, wie mir

1) *Ann. de chim. et de phys., Ser. II., T. LXXIII., p.* 337. (Annal. Ergänzungsbd. I., S. 451.)

scheint, vernachlässigte Fälle anwenden werde, so wird es nützlich seyn, zuvörderst die für diese verschiedenen Klassen von Erscheinungen festgestellten Hauptgesetze kurz zu wiederholen.

2) Ein in irgend einem Azimut polarisirter Lichtstrahl läſst sich betrachten als gebildet durch Ueberdeckung zweier Strahlen, deren Schwingungen bei dem einen parallel, bei dem anderen winkelrecht zur Einfallsebene sind.

Wenn das Mittel, woran die Reflexion geschieht, nicht krystallisirt ist, so ist es rings um jeden Punkt symmetrisch. Die zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen bleiben also nach der Reflexion parallel und winkelrecht gegen diese Ebene. Im Allgemeinen ist bei beliebigem Einfall die eine parallel, die andere geneigt gegen die reflectirende Fläche; ihre Amplituden müssen also beim Act der Reflexion verschiedentlich abgeändert werden, und können nicht in demselben Verhältniſs verringert werden. An der Gränze, bei senkrechtem Einfall, werden alle beide Schwingungen parallel zur reflectirenden Fläche und ihre Amplituden sind also nothwendig proportional verringert; oder anders gesagt, die Azimute der einfallenden und der reflectirten Schwingung sind bei dieser Gränze nothwendig von gleichem absolutem Werth.

Uebrigens ist klar, daſs die Reflexion im Allgemeinen einen Phasenunterschied zwischen den beiden rechtwinklichen Schwingungen errichten kann.

3) Wenn die reflectirende Fläche zu einem durchsichtigen Mittel gehört, so zeigt die Erfahrung, daſs dieser Phasenunterschied immer gleich ist einem Vielfachen des halben Kreisumfanges, weil der Charakter der Polarisation nicht geändert wird, und die beiden rechtwinklichen Componenten durch Ueberdeckung wieder eine geradlinige Schwingung bilden. Das Azimut dieser geradlinigen Schwingung hängt ab von dem Verhältniſs der Verringerung der Amplituden. Dieſs Verhältniſs ist das einzige unbekannte Element und ist nur Function der Incidenz.

Digitized by Google

4) Wenn die reflectirende Fläche einem Mittel mit metallischer Undurchsichtigkeit angehört, so lehrt die Erfahrung, daſs der Phasenunterschied nicht beständig gleich ist einem Vielfachen des halben Kreisumfangs, weil der Charakter der Polarisation geändert wird und die beiden componirenden Schwingungen durch Ueberdeckung eine elliptische Schwingung bilden. Das Azimut und die relative Gröſse der Axen der Ellipse hängen ab sowohl vom Verhältniſs der Amplituden-Verringerungen als auch von dem durch die Reflexion bewirkten Phasenunterschied. Dieſs Verhältniſs und dieser Unterschied sind zwei unbekannte Elemente, die nur Function von der Incidenz sind.

5) Wenn die Reflexion an einem krystallisirten doppeltbrechenden Mittel geschieht, so ist nicht alles rings um jeden Punkt symmetrisch. Die zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen bleiben nicht nothwendig in allen Fällen nach der Reflexion parallel und winkelrecht und jede derselben kann ihrerseits dem reflectirten Strahl eine parallele und eine winkelrechte Componente liefern. Allein wenn das Mittel durchsichtig ist, so haben noch alle diese Componenten nur Phasenunterschiede von Vielfachen des halben Kreisumfangs unter sich, weil der Charakter der Polarisation nicht geändert worden ist und ihre Ueberdeckung wieder eine geradlinige Schwingung hervorbringt. Das Azimut dieser geradlinigen Schwingung wird bestimmt durch das Amplituden-Verhältniſs der zur Reflexionsebene parallelen und winkelrechten reflectirten Componenten. Dieſs ist das einzige unbekannte Element; aber dieſs Element ist nicht bloſs Function der Incidenz, sondern auch Function der Neigung der reflectirenden Fläche gegen die Axen des Krystalls und, für eine bestimmte Fläche, der Neigung der Einfallsebene gegen dieselben Axen.

6) Das doppeltbrechende Vermögen fügt demnach den allgemeinen Erscheinungen der Reflexion an gewöhnlichen

Digitized by Google

durchsichtigen Körpern noch einige charakteristische Eigenschaften hinzu.

Eine zur Einfallsebene parallele oder winkelrechte Schwingung bleibt nach der Reflexion nicht anders parallel oder winkelrecht als unter gewissen besonderen Richtungen der Einfallsebene.

Operirt man an derselben Fläche successive nach zwei Richtungen dieser Art, so findet man, für eine bestimmte Incidenz, verschiedene Verhältnisse zwischen den Amplituden-Verringerungen, welche die Reflexion den zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen einprägt; oder, für einen bestimmten Werth dieses Verhältnisses, verschiedene Incidenzen.

So geht dieses Verhältniſs durch Null zu einem Winkel der vollständigen Polarisation über, welcher allgemein nicht derselbe ist für die beiden Richtungen der Einfallsebene.

Bei senkrechter Incidenz ist der absolute Werth dieses Verhältnisses im Allgemeinen verschieden von der Einheit und folglich hört das Polarisationsazimut des reflectirten Strahls auf, im absoluten Werthe dem des einfallenden Strahles gleich zu seyn.

Dieſs Verhältniſs wird, im absoluten Werth, unter gewissen schiefen Incidenzen und nur bei gewissen besonderen Richtungen der Einfallsebene, gleich der Einheit. Für diese schiefen Incidenzen ist das Polarisationsazimut des reflectirten Strahls im absoluten Werthe gleich dem des einfallenden Strahls.

Endlich ändert sich alles dieses, wenn man mit der reflectirenden Fläche wechselt.

7) Sind nun diese Eigenschaften des reflectirten Lichts, welche mit der doppelten Richtung des gebrochenen Lichts wesentlich verknüpft sind, noch vorhanden, wenn dieses Licht in sehr geringer Tiefe erlischt, weil das reflectirende Mittel eine Beschaffenheit hat, die es ungeschickt macht, innere Schwingung ohne deren Vernichtung fortzupflanzen?

Digitized by Google

Wenn dem so ist, steht zu erwarten, daſs man bei dem von metallisch undurchsichtigen Krystallen reflectirten Lichte die Eigenthümlichkeiten der Krystallreflexion wiederfinden werde, freilich complicirt durch die Eigenthümlichkeiten der Metallreflexion, d. h. durch den Phasenunterschied, welchen sie zwischen den zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen herstellt.

Somit werden die zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen nach der Reflexion nicht anders parallel oder winkelrecht bleiben dürften als unter gewissen besonderen Richtungen der Einfallsebene.

Operirt man successive in diesen beiden Richtungen, so muſs man finden, daſs, für eine bestimmte Incidenz, daſs Verhältniſs der Amplituden-Verringerungen der zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen, so wie deren Phasenunterschied, verschieden ist.

Dieser Phasenunterschied wird einem Viertel gleich seyn, bei einer Incidenz, die im Allgemeinen nicht dieselbe ist für zwei besondere Richtungen der Einfallsebene.

Bei senkrechter Incidenz werden zwei rechtwinkliche Schwingungen nicht dieselbe Amplituden-Verringerung erleiden und die Reflexion wird zwischen den absoluten Werthen des Azimuts der einfallenden Schwingungen und des der reflectirten einen Unterschied herstellen.

Das Verhältniſs der Amplituden-Verringerrungen wird, unter schiefen Incidenzen und bloſs für gewisse besondere Richtungen der Einfallsebene, der Einheit gleich seyn.

8) Um unter diesem Gesichtspunkt die Erscheinungen der Reflexion an der Oberfläche von Krystallen zu studiren, ist es also nothwendig, daſs das experimentelle Verfahren gewisse Bedingungen erfülle.

Es muſs mit hinreichender Genauigkeit die Incidenz geben, welche bei den Amplituden-Verringerungen dem Verhältniſs Null oder bei den Phasen dem Unterschiede von einem Viertel entspricht. Eben so muſs es auch geben die besondere Incidenz, wenn sie existirt, die bei

Digitized by Google

den Amplituden-Verringerungen dem Verhältniſs eins entspricht.

Es muſs zur Anwendung eines homogenen Lichts geeignet seyn oder gestatten zwischen den verschiedenen Elementen des weiſsen Lichts ein durch die Methode selbst gegebenes Mittel zu nehmen, unabhängig von den mehr oder weniger unsicheren und willkührlichen Schätzungen des Beobachters.

Es muſs für jede Incidenz das Verhältniſs der Amplituden-Verringerungen messen lassen, erforderlichenfalls auch den Phasenunterschied, den die zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen erlitten haben.

Es muſs durch unzweideutige Zeichen die Veränderungen unterscheiden, welche alle diese Elemente erleiden können, wenn, unter sonst gleichen Umständen, die Einfallsebene ihre Richtung auf der reflectirenden Fläche ändert.

9) Operirt man mit durchsichtigen Mitteln, welche dem reflectirten Strahl eine geradlinige Polarisation lassen, so reducirt sich Alles auf die Messung gewisser Polarisationsazimute, und das directeste und zugleich genaueste Verfahren besteht darin, beim zerlegenden doppeltbrechenden Prisma die Richtung des Hauptschnitts zu bestimmen, welche eins der beiden Bilder verschwinden macht. Wendet man ein wenig lebhaftes Licht an, oder sorgt dafür, um den Moment des Verschwindens genau zu beurtheilen, das übrigbleibende Bild durch einen klaren Turmalin oder ein Nicol'sches Prisma momentan zu schwächen, so hinterläſst diese Methode keine groſse Unsicherheit.

10) Operirt man mit Mitteln, welche die geradlinige Polarisation des einfallenden Strahls mehr oder wenig abändern, indem sie dem reflectirten Lichte eine elliptische Polarisation mittheilen, so ist die obige Methode nicht mehr anwendbar und die Beobachtungsmittel werden verwickelter. Bevor ich diejenige auseinandersetze, welche mir den Bedingungen zu genügen scheint, will ich die erör-

Digitized by Google

tern, welche ich mit mehr oder weniger Erfolg versucht habe. Das Detail dieser fruchtlosen Versuche wird vielleicht den Physikern, die ihrerseits an diese interessante Aufgabe gehen wollen, einige Mühe ersparen, oder ihnen Wege eingeben, die Hindernisse, die mich aufhielten, abzuwenden oder zu besiegen.

11) Anfangs führte ich, mittelst eines Glimmerblattes von bestimmter Dicke, das elliptisch polarisirte Licht auf eben polarisirtes zurück. Allein eine und dieselbe Dicke kann streng genommen nicht für alle Elemente des weiſsen Lichtes passen. Die Axen der den verschiedenen Farben entsprechenden Polarisationsellipsen werden übrigens durch die Reflexion selbst zerstreut; es ist also unmöglich hierdurch für alle Bestandtheile des reflectirten weiſsen Strahls gleichzeitig die ebene Polarisation wieder herzustellen und das Auftreten von Farben macht die Messungen sehr unsicher. Ohne viel besseren Erfolg habe ich das Glimmerblättchen durch ein Fresnel'schen Parallelepiped ersetzt. Eins der beiden vom doppeltbrechenden Prisma erzeugten Bilder verschwand niemals vollständig, sondern färbte sich bloſs dunkel, verschiedenartig und stark.

Bei Anwendung von homogenem Lichte verschwinden die aus der Dispersion entspringenden Unsicherheiten; allein dieser Vortheil schien mir immer aufgewogen durch die Schwächung der Lichtstärke. Die durch dieses Beobachtungssystem erhaltenen Resultate sind überdieſs mit einer in der Methode selbst liegenden Fehlerquelle behaftet. Sie erfordert nämlich die Kenntniſs von drei Winkeln: vom Schwingungsazimut des einfallenden Strahls, vom Azimut des Hauptschnitts der Glimmerplatte oder des Parallelepipeds und vom Azimut des Hauptschnitts des Zerlegers. Allein die Bestimmung des Nullpunkts von jedem Azimut und jedes Azimutes selbst bringt nothwendig einen gewissen Grad von Unsicherheit mit sich und diese Fehler haben einen dreifachen Einfluſs.

Digitized by Google

Ich verfuhr indeſs solchergestalt mit Schwefelantimon, indem ich die Einfallsebene folgweise parallel und normal zur Axe des Prismas stellte[1]). Beständig fand ich dabei Unterschiede, welche gewiſs die Beobachtungsfehler überstiegen, und überdieſs von einer deutlichen, obwohl wenig meſsbaren Eigenthümlichkeit begleitet waren. Die Dispersion der Farben ist immer unendlich stärker, wenn die Einfallsebene parallel der Axe ist, als wenn sie winkelrecht auf derselben liegt.

12) Fängt man den elliptisch polarisirten, reflectirten Strahl direct mit einem doppelt brechenden Prisma auf, so vertheilt sich dieser Strahl offenbar gleichmäſsig unter die beiden Bilder, wenn der Hauptschnitt des zerlegenden Prismas gleich geneigt ist gegen die beiden Axen der Ellipse. Wenn nun dieses doppeltbrechende Prisma unbeweglich bleibt, so führen zwei verschiedene conjugirte Azimute der Schwingung des einfallenden Strahls die Gleichheit dieser beiden Bilder herbei, und eine sehr einfache Rechnung zeigt, daſs wenn man nennt:

ω, ω' diese beiden conjugirten Azimute;

a das Azimut vom Hauptschnitt des Zerlegers;

$\frac{h}{k}$ das Verhältniſs der Verringerungen, welche die Amplituden der zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen beim Acte der Reflexion erleiden;

φ den Phasenunterschied, welchen die Reflexion zwischen diesen Schwingungen errichtet;

man die Formeln hat:

$$\frac{h}{k} = \sqrt{-\cot\omega \cdot \cot\omega'},$$

$$\cos\varphi = \cos 2a \frac{\sin(\omega + \omega')}{\sqrt{-\sin 2\omega \cdot \sin 2\omega'}}.$$

1) Zur Abkürzung nenne ich *Axe* des Schwefelantimons die krystallographische Axe, welche auf den beiden andern, unter sich um 88° 40′ neigenden, senkrecht ist.

Digitized by Google

Durch diese Methode vermeidet man nicht die Farbenzerlegungen und die beiden Bilder haben im Allgemeinen verschiedene Farben; allein man kann ein homogenes Licht anwenden, da die Schwächung der Lichtstärke hier ohne Nachtheil ist. Denn es handelt sich hier nicht um das Verschwinden eines der Bilder, sondern um die Gleichheit ihrer Intensität. Es herrscht hier also nur die Unsicherheit, die mit den Schätzungen dieser Art verknüpft ist. *Für mich* ist sie sehr beträchtlich. Als ich solchergestalt mit einem vollkommen polirten Stahlspiegel und unter den günstigsten Umständen operirte, konnte ich niemals für 1 Grad einstehen, und die Fehler stiegen auf 2 und selbst auf 4 Grad, wenn die Bilder durch Streifen, Politurungleichheiten oder eine geringe Krümmung der reflectirenden Fläche mehr oder weniger entstellt oder weniger scharf geworden waren. Ich war also genöthigt, auch diese Beobachtungsweise aufzugeben, die mir für die speciellen Untersuchungen, die ich vorgenommen hatte, nicht übereinstimmendere Resultate lieferte als die erste.

13) Das directeste Verfahren vielleicht ist das, welches Brewster angewandt hat. Es besteht darin, an parallelen Spiegeln so viele Reflexionen zu bewerkstelligen, bis die ebene Polarisation hergestellt ist. Offenbar ist hierbei die Summe der Phasenunterschiede, die bei jeder Reflexion entstehen, gleich einer ganzen Zahl von halben Wellen. Das Verhältniſs der Amplituden-Verringerungen, erhoben auf eine durch diese Zahl angegebene Potenz, ist gleich dem Verhältniſs der Tangenten der Azimute der einfallenden geradlinigen und der reflectirten geradlinigen Schwingung. Man bestimmt sonach also durch zwei unabhängige Beobachtungen einerseits den Phasenunterschied und andererseits das Verhältniſs der Amplituden-Verringerungen.

Dieſs Verfahren, welches für künstliche vollkommene Spiegel sehr gut paſst, eignet sich weniger für die natür-

Digitized by Google

lichen Spiegel, welche die Krystalle darbieten. Diese letzteren, obwohl sehr glänzend, sind wenig breit und selten frei von Streifen und Biegungen. Die Bilder entstellen sich unaufhörlich durch vielfache Reflexionen und es hält schwer, den Moment der Wiederherstellung der ebenen Polarisation zu erfassen, und deren Azimut zu messen. Die Polarisationsellipsen sind übrigens, wie man weiterhin sehen wird, sehr in die Länge gezogen, der geraden Linie sich nähernd. Demgemäſs nimmt die in der Einfallsebene liegende Schwingung sehr rasch mit Vervielfältigung der Reflexionen ab, und die ungemeine Verringerung ihrer Amplitude führt den reflectirten Strahl nahe auf die ebene Polarisation zurück, wie übrigens auch der zwischen den beiden rechtwinklichen Componenten verbleibende Phasenunterschied seyn möge. Aus demselben Grunde reducirt sich das Polarisationsazimut dieses reflectirten Strahls auf einen fast nullgleichen Winkel und in demselben Maaſse erlangen die Beobachtungsfehler einen ungeheuren Einfluſs, weil dieser Winkel als Tangente in die Rechnung eingeht.

14. Man kann auch das folgende Mittel anwenden. Gesetzt ein auſserhalb der Einfallsebene polarisirter Strahl falle auf einen Metallspiegel, reflectire sich, und treffe unter derselben Incidenz einen zweiten solchen Spiegel, der dem ersten parallel ist. Dreht man diesen zweiten Spiegel um den Strahl, ohne die Neigung gegen denselben zu ändern, so findet man immer für die zweite Einfallsebene eine Richtung, welche den reflectirten Strahl zur ebenen Polarisation zurückführt; und bezeichnet man mit μ den Winkel zwischen den beiden successiven Einfallsebenen, mit ω das Azimut der einfallenden Schwingung, bezogen auf die erste Einfallsebene, mit $\omega_{,}$ das Azimut der reflectirten Schwingung, bezogen auf die zweite Einfallsebene, so findet man leicht;

$$\frac{h^2}{k^2} = \frac{tang\,\omega}{tang\,\omega_{,}}, \qquad cos\,\varphi = tang\,\mu\,\frac{cos\,(\omega + \omega_{,})}{\sqrt{sin\,2\omega\ sin\,2\omega_{,}}}.$$

Digitized by Google

Der Versuch kann mit zwei Spiegeln gelingen, ist aber fast unmöglich mit Krystallen, deren kleine und wenig regelmäſsige Flächen sehr schwer in vollkommenen Parallelismus zu bringen sind, der doch andrerseits unumgänglich ist und für die Messung der Winkel als Ausgangspunkt dienen muſs.

15) Die Krystalle bieten demnach besondere Schwierigkeiten dar. Ueberdieſs ist klar, daſs die Kleinheit der auszumittelnden Gröſsen einige Zweifel auf die, nur auf Messungen und Zahlen beruhenden Resultate werfen würde; es blieb also noch ein Verfahren aufzusuchen, welches jeder Eigenthümlichkeit des Phänomens ihren besonderen Charakter einprägte und in Wirklichkeit zugleich einen sichtbaren Beweis und ein Messungsmittel lieferte.

Stellt man in die Bahn eines reflectirten Strahls eine solche aus zwei Quarzen zusammengesetzte Platte, wie sie Hr. Soleil zur Bestimmung des Azimuts einer geradlinigen Schwingung vorgeschlagen hat, so werden offenbar die Quarze eine selbe Farbe annehmen, sobald der Hauptschnitt des Zerlegers den Axen der Schwingungsellipse entspricht. Jede der componirenden geradlinigen Schwingungen, gerichtet nach diesen Axen, erzeugt nämlich in diesem Fall für ihren Theil unabhängig von der anderen eine gleichförmige Farbe.

Giebt man dem Zerleger eine bestimmte Lage, so findet man für die Schwingung des einfallenden Strahls zwei conjugirte Azimute, welche den Doppelquarz von gleichförmiger Farbe machen, und mittelst dieser drei Winkel hat man Alles, was zur Berechnung der unbekannten Elemente nothwendig ist. Wenn diese Elemente, alles Uebrige gleich, bloſs durch Drehung der Einfallsebene auf der reflectirenden Fläche, andere Werthe annehmen, so zeigt sich dieſs nicht mehr durch Veränderungen in der Intensität, ein zweifelhaftes Zeichen, wenn es nicht sehr ausgeprägt ist, sondern durch eine Verschiedenheit in der Farbe beider Quarze.

Digitized by Google

Unter der besonderen Incidenz, die einem Phasenunterschied von einem Viertel entspricht, macht ein gewisses Polarisationsazimut des einfallenden Strahls die Polarisation des reflectirten Strahls circular. Alsdann sind die beiden Quarze, bis auf die Dispersionswirkungen, alle beide farblos im ordentlichen und im auſserordentlichen Bilde. Auch sind diese Bilder von gleicher Intensität, was für ein Azimut der Hauptschnitt des Zerlegers auch haben möge.

Man darf von dieser Beobachtungsweise nicht all die Empfindlichkeit erwarten, die sie besitzt, wenn man mit geradlinig polarisirtem Lichte operirt. Die Farbe der Quarze ist nämlich stets variabel mit der Incidenz, in dem Maaſse als diese Incidenz die Elliptícität der Polarisation des reflectirten Strahles abändert. Diese Farbe entfernt sich also immer mehr oder weniger von der sensiblen Farbe.

Obwohl ich nach diesem Verfahren viele Versuche angestellt habe, will ich doch nicht die Theorie desselben entwickeln. Ich habe es für das folgende aufgegeben, welches mit denselben Vorzügen andere vereint, und mir dem Zweck, welchen ich zu erreichen suchte, noch näher zu kommen scheint.

16) Ich bringe in die Bahn des einfallenden polarisirten Strahls eine der Hälfte nach aus zwei gleich dicken, gegen die Axen senkrecht geschnittenen Quarzen von entgegengesetzter Drehung bestehende Platte. Das Lichtbündel, das in seinen beiden Hälften sonach entgegengesetzt modificirt ist, wird an einem Metallspiegel reflectirt und darauf mit einem doppeltbrechenden Prisma analysirt.

Die beiden Bilder sind gefärbt, und, wegen der beiden Quarze, im Allgemeinen in beiden Segmenten verschieden gefärbt. Aendert man das Azimut des Hauptschnitts des Zerlegers, so findet man für dieses Azimut zwei besondere Richtungen, welche das ordentliche und das auſserordentliche Bild von gleichförmiger Farbe machen.

Digitized by Google

Die respectiven Farben dieser Bilder ändern sich übrigens, scheinbar ziemlich verwickelt, wenn man die Incidenz langsam verändert.

17) Um aus diesen Erscheinungen alle nützlichen Folgerungen zu ziehen, muſs man deren Gesetze kennen. Die Fresnel'schen Principien erlauben die successiven Modificationen, welche der einfallende polarisirte Strahl auf seiner Bahn erfährt, in Formeln zu bringen.

Es sey eine irgendwie gerichtete geradlinige Schwingung:

$$2 \sin \frac{2\omega}{T} t.$$

Sie kann zerlegt werden in zwei circulare Schwingungen von entgegengesetzter Rotation:

$$\left.\begin{matrix} \sin \frac{2\omega}{T} t \\ \cos \frac{2\omega}{T} t \end{matrix}\right\} \qquad \qquad \left.\begin{matrix} \sin \frac{2\omega}{T} t \\ -\cos \frac{2\omega}{T} t \end{matrix}\right\}$$

wobei die beiden durch Sinuse repräsentirten Schwingungen die Richtung der ursprünglichen geradlinigen Schwingung bewahren, die beiden durch Cosinuse repräsentirten Schwingungen aber winkelrecht auf dieser Richtung sind.

In einer senkrecht gegen die Axe geschnittenen Quarzplatte stellt sich zwischen den beiden Circularschwingungen ein Gangunterschied δ ein, so daſs diese Schwingungen nach dem Durchgang geworden sind zu:

$$\left.\begin{matrix} \sin \frac{2\omega}{T} t \\ \cos \frac{2\omega}{T} t \end{matrix}\right\} \qquad \qquad \begin{matrix} \sin\left(\delta + \frac{2\omega}{T} t\right) \\ -\cos\left(\delta + \frac{2\omega}{T} t\right) \end{matrix}$$

Jede geradlinige Schwingung kann nun zerlegt werden parallel und winkelrecht zur Einfallsebene, und ihre Componenten überdecken sich in diesen beiden Richtungen. Nennt man ω das Azimut der ursprünglichen geradlinigen Schwingung, so werden die zur Einfallsebene parallelen und winkelrechten Schwingungen respective ausgedrückt seyn durch:

Digitized by Google

$$\cos\omega\left[\sin\frac{2\omega}{T}t+\sin\left(\delta+\frac{2\omega}{T}t\right)\right]-\sin\omega\left[\cos\frac{2\omega}{T}t-\cos\left(\delta+\frac{2\omega}{T}t\right)\right]$$
$$=\cos\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\frac{2\omega}{T}t\right)$$

$$\sin\omega\left[\sin\frac{2\omega}{T}t+\sin\left(\delta+\frac{2\omega}{T}t\right)\right]+\cos\omega\left[\cos\frac{2\omega}{T}t-\cos\left(\delta+\frac{2\omega}{T}t\right)\right]$$
$$=\sin\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\frac{2\omega}{T}t\right).$$

Der Strahl erleidet hierauf eine Reflexion, welche die Amplitude aller zur Einfallsebene parallelen Schwingungen im Verhältniſs $\frac{h}{1}$, und die Amplitude aller darauf winkelrechten Schwingungen im Verhältniſs $\frac{k}{1}$ reducirt. Ueberdieſs errichtet die Reflexion einen Phasenunterschied φ zwischen diesen Schwingungen, so daſs sie, nach der Reflexion, vorgestellt werden durch:

$$h\cos\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\varphi+\frac{2\omega}{T}t\right),$$
$$k\sin\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\frac{2\omega}{T}t\right).$$

Analysirt man nun den reflectirten Strahl mit einem doppeltbrechenden Prisma, dessen Hauptschnitt einen Winkel a mit der Einfallsebene bildet, so wird die Schwingungsbewegung respective für das ordentliche und auſserordentliche Bild vorgestellt seyn durch:

$$h\sin a\cos\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\varphi+\frac{2\omega}{T}t\right)$$
$$-k\cos a\sin\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\frac{2\omega}{T}t\right),$$
$$h\cos a\cos\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\varphi+\frac{2\omega}{T}t\right)$$
$$+k\sin a\sin\left(\frac{\delta}{2}+\omega\right)\sin\left(\frac{\delta}{2}+\frac{2\omega}{T}t\right).$$

Setzt man hierauf:

$$\operatorname{tang}\alpha=\frac{h}{k}\operatorname{tang}a\,,\qquad \operatorname{tang}\alpha'=-\frac{h}{k}\cot a\,,$$

Digitized by Google

so findet man, nach Vollziehung der verschiedenen Reductionen, daſs die Schwingungsbewegungen vorgestellt werden durch:

$$\sqrt{h^2 \sin^2 a + k^2 \cos^2 a}\left\{\begin{array}{l} \sin\frac{2\omega}{T}t\left[\begin{array}{l} \sin\alpha\cos\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\cos\left(\varphi+\frac{\delta}{2}\right) \\ -\cos\alpha\sin\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\cos\frac{\delta}{2} \end{array}\right] \\ +\cos\frac{2\omega}{T}t\left[\begin{array}{l} \sin\alpha\cos\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\sin\left(\varphi+\frac{\delta}{2}\right) \\ -\cos\alpha\sin\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\sin\frac{\delta}{2} \end{array}\right] \end{array}\right\}$$

$$\sqrt{h^2 \sin^2 a + k^2 \cos^2 a}\left\{\begin{array}{l} \sin\frac{2\omega}{T}t\left[\begin{array}{l} \sin\alpha'\cos\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\cos\left(\varphi+\frac{\delta}{2}\right) \\ -\cos\alpha'\sin\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\cos\frac{\delta}{2} \end{array}\right] \\ +\cos\frac{2\omega}{T}t\left[\begin{array}{l} \sin\alpha'\cos\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\sin\left(\varphi+\frac{\delta}{2}\right) \\ -\cos\alpha'\sin\left(\omega+\frac{\delta}{2}\right)\sin\frac{\delta}{2} \end{array}\right] \end{array}\right\}$$

so daſs die respectiven Intensitäten des ordentlichen und des auſserordentlichen Bildes proportional sind:

$$(h^2 \sin^2 a + k^2 \cos^2 a)\left[\begin{array}{l} 1 - \cos\delta\,(\cos 2\alpha \cos 2\omega + \sin 2\alpha \sin 2\omega \cos\varphi) \\ + \sin\delta \cos 2\alpha \cos 2\omega\,(\tang 2\omega - \cos\varphi \tang 2\alpha) \end{array}\right]$$

$$(h^2 \sin^2 a + k^2 \cos^2 a)\left[\begin{array}{l} 1 - \cos\delta\,(\cos 2\alpha' \cos 2\omega + \sin 2\alpha' \sin 2\omega \cos\varphi) \\ + \sin\delta \cos 2\alpha' \cos 2\omega\,(\tang 2\omega - \cos\varphi \tang 2\alpha') \end{array}\right]$$

Digitized by Google

Dieselben Formeln würden die Intensitäten des ordentlichen und des auſserordentlichen Bildes in einem Quarz von umgekehrter Drehung vorstellen, wenn man darin das Zeichen von δ änderte.

Jeder Unterschied in der Form der Function von δ, welche die Intensität vorstellt, führt einen Farbenunterschied herbei, sobald man mit weiſsem Lichte arbeitet. Die beiden Segmente, entsprechend den Quarzen von umgekehrter Drehung, welche den einfallenden Strahl modificiren, präsentiren also nur dann dieselbe Farbe, wann die oben gefundenen Ausdrücke unabhängig sind vom Zeichen δ, und dazu muſs man haben:

$$tang\,2\omega - cos\,\varphi\; tang\,2\alpha = 0, \quad tang\,2\omega - cos\,\varphi\; tang\,2\alpha' = 0 \;\ldots\; (1).$$

Soll ein und derselbe Werth von ω diesen beiden Gleichungen genügen, so muſs man haben:

$$cos\,\varphi\,(tang\,2\alpha - tang\,2\alpha') = 0 \;\ldots\ldots\ldots\; (2).$$

Das erste Glied dieser Bedingungsgleichung annullirt sich identisch bei jedwedem Werthe von α und α', also auch bei jeglichem Azimut a, sobald $\varphi = \frac{1}{2}\omega$. Allein $\varphi = \frac{1}{2}\omega$ führt nothwendig mit sich: $\omega = 0$ oder 90°.

Wenn $cos\,\varphi = 0$ und ω irgend einen Werth behält, so müſste, damit den beiden Gleichungen (1) gleichzeitig genügt würde, $\alpha = \alpha' = 45^\circ$ oder 135° seyn, eine unmöglich zu erfüllende Bedingung. In diesem Fall kann einer einzigen der beiden Gleichungen (1), z. B. der ersten, genügt werden durch:

$$\alpha = \begin{cases} 45^\circ \\ 135^\circ \end{cases}, \quad tang\,a = \pm \frac{k}{h}.$$

Wann $\omega = \begin{cases} 0 \\ 90^\circ \end{cases}, \quad \varphi = \frac{\omega}{2}, \quad tang\,a = \begin{cases} 0 \\ \infty \end{cases},$

werden die Intensitäten:

$$h^2(1 - cos\,\delta), \quad k^2(1 + cos\,\delta).$$

Bis auf die Intensität sind die Farben complementar.

Wann $\omega = \begin{cases} 0 \\ 90^\circ \end{cases}, \quad \varphi = \frac{\omega}{2}, \quad tang\,a = \pm\frac{k}{h},$

so werden die Intensitäten:

Digitized by Google

$$\frac{2h^2k^2}{h^2+k^2}, \qquad \frac{h^4+k^4}{h^2+k^2}(1-\cos\delta\cos 2\alpha').$$

Das ordentliche Bild wird farblos, das andere bleibt farbig. Das Umgekehrte findet statt, wenn $\cot a = \pm\frac{k}{h}$.

Wann $\omega = \begin{cases}0\\90^0\end{cases}$, $\varphi = \frac{\omega}{2}$, $\tan g\, a = 1$, $\cos 2a = \cos 2\alpha'$,

so sind die Intensitäten gleich und die beiden Bilder von gleicher Farbe.

Das erste Glied der Bedingungsgleichung (2) annullirt sich noch identisch für jeglichen Werth von φ, wenn

$\tan g\, 2\alpha = \tan g\, 2\alpha'$, woraus $\alpha = \frac{1}{2}\omega + \alpha'$, oder $\omega + \alpha'$

und dieses System von Werthen entspricht:

$$\tan g\,\alpha \tan g\,\alpha' + 1 = 0, \qquad \tan g\,\alpha - \tan g\,\alpha' = 0.$$

Allein im Allgemeinen hat man:

$$\tan g\,\alpha \tan g\,\alpha' + \frac{h^2}{k^2} = 0, \quad \tan g\,\alpha - \tan g\,\alpha' = \frac{h}{k} \cdot \frac{2}{\sin 2\alpha},$$

mithin ist der Bedingungsgleichung (2) identisch genügt, wenn man hat:

$$+h = k \text{ oder vielmehr } h = 0.$$

Der Gleichung $h = k$ entsprechen folgende Intensitäten:

$$h^2[1 - \cos\delta(\cos 2\alpha\cos 2\omega + \sin 2\alpha \sin 2\omega\cos\varphi]$$
$$h^2[1 + \cos\delta(\cos 2\alpha\cos 2\omega + \sin 2\alpha \sin 2\omega\cos\varphi].$$

Diese Bilder sind immer complementar.

$h = 0$ setzt das Daseyn eines Winkels vollständiger Polarisation voraus, und die Intensitäten werden:

$$\sin^2 a(1-\cos\delta), \qquad \cos^2 a(1-\cos\delta).$$

Die Bilder sind von identischer Farbe und complementarer Intensität.

Allemal wenn den Gleichungen (1) nicht gleichzeitig durch einen selben Werth von ω genügt werden kann, bleibt das auſserordentliche Bild nach der Hälfte in beiden Segmenten von verschiedener Farbe, wenn das ordentliche Bild von gleichförmiger Farbe ist, und umgekehrt.

Digitized by Google

Gesetzt der Zerleger sey so gestellt, daſs z. B. das ordentliche Bild eine gleichförmige Farbe habe:

$$tang\, 2\alpha \; cos\, \varphi = tang\, 2\omega.$$

Dieser Gleichung wird genügt durch die beiden Werthe von α, nämlich α und $\frac{1}{2}\omega + \alpha$, oder durch die beiden Werthe von a nämlich:

$$\frac{h}{k}\, tang\, a = tang\, \alpha, \quad \frac{h}{k}\, tang\, a' = tang\left(\frac{\omega}{2} + \alpha\right).$$

woraus:

$$\frac{h^2}{k^2} = - cot\, a \,.\, cot\, a', \quad tang\, 2\alpha = \frac{\sqrt{-sin\, 2a\, sin\, 2a'}}{sin(a + a')} \;.\;.\; (3),$$

$$cos\, \varphi = tang\, 2\omega \frac{sin(a + a')}{\sqrt{-sin\, 2a\, sin\, 2a'}} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (4).$$

Bezeichnet man mit O eine der Intensität des ordentlichen Bildes, z. B. proportionale Gröſse, so hat man vorhin gefunden:

$$O = (h^2 sin^2 a + k^2 cos^2 a)\left[\begin{array}{l} 1 - cos\, \delta\, (cos\, 2\alpha\, cos\, 2\omega + sin\, 2\alpha\, sin\, 2\omega\, cos\, \varphi) \\ + sin\, \delta\, (sin\, 2\omega\, cos\, 2\alpha - sin\, 2\alpha\, sin\, 2\omega\, cos\, \varphi), \end{array}\right.$$

wo α eine Function von a ist, bestimmt durch:

$$tang\, \alpha = \frac{h}{k}\, tang\, a.$$

Wenn man, nach Differentiation in Bezug auf a, die Gröſse 2ω mittelst

$$tang\, 2\omega = cos\, \varphi \; tang\, 2\alpha$$

eliminirt und darauf $a = \alpha = 0$ oder 90^0 macht, hat man:

$$\frac{dO}{da} = - 2hk\, sin\, \delta\, cos\, \varphi.$$

Um also unter diesen Bedingungen eine gleiche Intensitätsdifferenz zwischen den beiden Segmenten des ordentlichen Bildes hervorzubringen, muſs die sehr kleine Drehung des Zerlegers direct oder umgekehrt seyn, je nachdem h und k von gleichem oder entgegengesetztem Zeichen sind; oder betrachtet man h und k als Coëfficienten, die bloſs absoluter Werthe fähig sind, so wird die Drehung direct oder umgekehrt seyn, je nachdem $cos\, \varphi$ positiv oder negativ ist.

Digitized by Google

Es ist nothwendig, über diese Formeln eine allgemeine Bemerkung zu machen. Sie setzen voraus, daſs, um die Amplitude der zur Reflexionsebene parallelen oder normalen reflectirten Schwingung zu erhalten, es hinreiche, die Amplitude der zur Einfallsebene parallelen und normalen einfallenden Schwingung zu multipliciren mit den Coëfficienten h und k. Sie passen also auf die Phänomene der Reflexion an Krystallen nur in dem Fall, wo die Einfallsebene eine solche Richtung hat, daſs die zu dieser Ebene parallelen und normalen Schwingungen nach der Reflexion parallel und normal bleiben. Es ist *a priori* klar, daſs sie anwendbar sind, wann die reflectirende Fläche und die Einfallsebene coincidiren mit den beiden Hauptschnitten der Fresnel'schen Elasticitätsfläche.

18) Wenn man die Resultate der vorstehenden Erörterung zusammenfaſst und auslegt, so sieht man, daſs jeder der besonderen Umstände, dessen Erweis bei der reflectirten Schwingungsbewegung erfordert wird, sich durch wohlbestimmte, ihnen eigne Zeichen zu erkennen giebt.

Denn der Gleichung $\varphi = \frac{1}{2}\omega$ entsprechenden Einfallswinkel erkennt man daran, daſs das ordentliche und das auſserordentliche Bild zur selben Zeit von gleichförmiger Farbe sind, wann der einfallende Strahl parallel oder normal zur Einfallsebene polarisirt ist. Diese Bilder sind an Farbe, wenn nicht an Intensität, complementar, sobald das Azimut des Hauptschnitts des Zerlegers Null oder 90° beträgt. Ihre Farbe ist identisch, wenn dieſs Azimut gleich 45° ist. Und endlich wird für vier paarweise conjugirte Richtungen das ordentliche oder auſserordentliche Bild beinahe farblos, während das andere farbig ist. Diesen letzten Fall zu realisiren, wird fast unmöglich seyn. Die Dispersion hindert immer das Weiſs an der Vollkommenheit; allein man sieht sehr deutlich eine bleiche Farbe, die sich derselben stark nähert, und ihr folgen plötzlich zwei durchaus entgegengesetzte Farben, je nachdem man den Zerleger rechts oder links dreht.

Digitized by Google

Das Daseyn eines Einfallswinkels, unter dem die Reflexion die Amplitude der zur Einfallsebene parallelen und normalen Schwingungen in gleichem Verhältniſs verringert, erkennt man daran, daſs das ordentliche und auſserordentliche Bild zur selben Zeit gleichförmig werden, aber complementar gefärbt bleiben.

Das Daseyn eines Winkels vollständiger Polarisation ergiebt sich daraus, daſs das ordentliche und auſserordentliche Bild zur selben Zeit von gleichförmiger, und, bis auf die Intensität, von gleicher Farbe sind; diese Intensität ist bei einem von ihnen Null, wenn der Hauptschnitt des Zerlegers parallel oder normal zur Einfallsebene ist.

Endlich erkennt man, ob das Product $hk \cos \varphi$ das Zeichen gewechselt habe, daran, daſs man, nachdem in beiden Fällen der Hauptschnitt des Zerlegers mit der Einfallsebene in Coïncidenz, und das ordentliche Bild zur Gleichförmigkeit gebracht worden ist, bei derselben sehr kleinen Drehung des Zerlegers die Farbe der Quarze sich in jedem Fall einer entgegengesetzten Nuance zuwenden sieht.

Operirt man bei irgend einer Incidenz, so giebt man dem Polarisationsazimut des einfallenden Strahls eine unveränderliche Lage und miſst die beiden conjugirten Azimute des Hauptschnitts des Zerlegers, welche z. B. das ordentliche Bild von gleichförmiger Farbe machen. Mittelst dieser gemessenen Winkel kann man hierauf berechnen den Phasenunterschied und das Verhältniſs der Amplituden-Verringerungen, welche die Reflexion, unter dieser Incidenz, den beiden Theilen des reflectirten Strahls, die der eine parallel, der andere normal zur Einfallsebene vibriren, eingeprägt hat. Uebrigens ist klar, daſs, wenn man mit weiſsem Lichte operirt, die sonach gemessenen und darauf zur Berechnung dienenden Winkel behaftet sind mit den unvermeidlichen Fehlern, die vom Dispersionsvermögen der Materie abhängen. Es ist sogar unmöglich, um den Polarisationswinkel herum, die Farben

Digitized by Google

beider Quarze strenge zur Gleichförmigkeit zu bringen; allein es ist ziemlich leicht, den Punkt zu erfassen, wo die durch eine kleine Drehung des Zerlegers erzeugten entgegengesetzten Farbentöne in einander übergehen. Das Verfahren nimmt somit an sich selbst zwischen den Winkeln, die den verschiedenen Farben zukommen, ein gewisses Mittel, das sich nicht sehr von der Wahrheit zu entfernen scheint. Dieſs ist übrigens ein mit der Anwendung des weiſsen Lichtes verknüpfter Uebelstand; allein andrerseits zeigt es die Erscheinungen viel deutlicher und macht sie gewissermaſsen handgreiflich; und ich kann nicht genug wiederholen, daſs diese Art von Oculardemonstration den Mitteln der Messung vorzuziehen ist.

Wenn endlich, alles Uebrige gleich, der Werth der Phasendifferenz und der des Verhältnisses der Amplituden-Verringerungen abhängen von der Richtung der Einfallsebene gegen die reflectirende Fläche, so braucht man nur, ohne etwas an den übrigen Umständen des Versuchs zu ändern, diese Fläche in ihrer eigenen Ebene zu drehen, um zu sehen, daſs die Farbenerscheinungen an beiden Bildern sich abändern.

19) Bei diesem Verfahren verrathen sich alle Erscheinungen durch den Farbencontrast, wenn man weiſses Licht anwendet, und durch Intensitätsdifferenzen, wenn man homogenes Licht gebraucht. Man kann die Farben geradezu beobachten, kann auch, bei Anwendung von Sonnenlicht, beträchtlich vergröſserte Bilder auf einen Schirm werfen. Diese zur Demonstration sehr zweckmäſsige Methode würde zugleich die genauesten Messungen liefern, in dem das Auge die Farben bei Ausbreitung auf groſse Flächen besser und ohne Ermüdung unterscheidet.

In Ermangelung dieser Beobachtungsmittel, die nicht immer zu Gebote stehen, habe ich das folgende Verfahren gewählt.

20) Das Instrument, dessen ich mich bediente, be-

Digitized by Google

steht aus zwei Röhren von 20 Centimeter Länge, verschlossen an beiden Enden durch genau concentrirte Diaphragmen von 7 Millim. Durchmesser. Diese Röhren bewegen sich an einem verticalen graduirten Kreis, der ihre gegenseitige Neigung zu messen erlaubt. Nahe beim Centrum dieses Kreises befindet sich ein Träger, beweglich um eine verticale Axe, so daſs man mittelst Stellschrauben diese Axe in Parallelismus mit der Ebene des Kreises und mit der Nulllinie der Theilung bringen kann. Er halbirt alsdann den Winkel zwischen den beiden gleich weit vom Nullpunkte abstehenden Röhren; und da senkrecht über der Axe des Trägers ein Glas angebracht ist, so kann man die vier Diaphragmen in Eine Linie stellen, zwei direct gesehen, zwei durch Reflexion vom Glase. Mittelst Fadenkreuz und eines kleinen zweckmäſsig aufgestellten Fernrohrs erhält man eine gröſsere Genauigkeit als durch bloſses Absehen der vier Diaphragmen.

Nach dieser Vorbereitung befestigt man auf das Glas die reflectirende Fläche mit etwas weichem Wachse, bringt sie, nach einigem Probiren, mit ihrer Ebene in das Centrum des getheilten Kreises und stellt sie senkrecht gegen die Drehungen des Trägers. Die reflectirten Bilder erscheinen dann unbeweglich, wenn die Drehung der Axe die reflectirende Fläche fortführt. Man ist sicher, daſs die sonach aufgestellte Fläche sich in ihrer eigenen Ebene drehe, und ohne etwas am einfallenden und reflectirten Strahl zu ändern, kann man die Einfallsebene leicht alle möglichen Richtungen gegen die reflectirende Fläche annehmen lassen. Diese Vorrichtung ist übrigens nur nützlich, wenn man mit krystallisirten Substanzen arbeitet.

Will man, daſs die Reflexion im Innern einer Flüssigkeit geschehe, so bringt man den Träger in einem Behälter an, in welchen die beiden Röhren mit ihren unteren Enden tauchen. Man nimmt alsdann statt der entsprechenden offenen Diaphragmen zwei, die durch senkrecht gegen

Digitized by Google

die Axe liegende Gläser verschlossen sind, so daſs der Strahl durch eine senkrechte Brechung zur Flüssigkeit sowohl ein- als austritt.

Das Licht einer guten Uhrlampe fällt auf ein Nicol'sches Prisma, vor dem ein mattes Glas aufgestellt ist. Hinter dem Prisma befindet sich ein Diaphragma und dann die der Hälfte nach aus Quarz von entgegengesetzter Drehung bestehende Platte. Nach der Reflexion fällt der Strahl, etwa 60 Centimeter von seinem Ausgangspunkt, auf ein doppeltbrechendes Prisma, und man beobachtet das Bild des Objectivdiaphragma's mit einem Fernrohr, das eine Vergröſserung von etwa fünf Halbmessern gewährt. Die Azimute des Nicol'schen Prisma und des zerlegenden doppeltbrechenden Prisma werden nöthigenfalls an graduirten Kreisen abgelesen, und man bestimmt ein- für allemal den Nullpunkt der Azimute, indem man ein Spiegelglas auf ein Gestell legt, und beim Winkel der vollständigen Polarisation operirt.

21) Bevor ich diese Beobachtungsmethoden auf krystallisirte Körper anwandte, machte ich, um sie zu controliren, einige Beobachtungen an verschiedenen Substanzen; ich werde zunächst die Hauptresultate derselben angeben.

22) Das Problem der Reflexion des Lichts an durchsichtigen unkrystallisirten Substanzen von mittlerer Brechbarkeit ist von Fresnel vollständig gelöst worden. Bezeichnet man mit i und r die Winkel der Incidenz und Refraction, so hat er gefunden, daſs die Amplituden-Verringerungen, welche die Reflexion den zur Einfallsebene parallelen und normalen Schwingungscomponenten einprägt, respective gleich sind den Coëfficienten:

$$h = -\frac{tang(i-r)}{tang(i+r)} \quad \text{und} \quad k = +\frac{sin(i-r)}{sin(i+r)}.$$

Diese Formeln bieten im Zeichen Eigenthümlichkeiten dar, die sich prüfen lassen.

Wenn in der Gleichung (5) $cos\,\varphi = \pm 1$, so gilt

Digitized by Google

sie für die Reflexion an durchsichtigen Mitteln. Sie gilt auch für den direct beobachteten einfallenden Strahl selbst, wenn man überdieſs $h = k = 1$ annimmt; und für den unter irgend einer Incidenz reflectirten Strahl, wenn man statt h und k die durch Fresnel's Formeln gegebenen Werthe setzt. Allein alsdann ist das Product hk negativ von der senkrechten Incidenz an bis zum Winkel der vollständigen Polarisation, und positiv vom Winkel der vollständigen Polarisation an bis zur streifenden Incidenz. Der Farbenunterschied, der durch eine sehr kleine Drehung des Zerlegers bewirkt wird, ist demnach, von der senkrechten Incidenz an bis zum Winkel der vollständigen Polarisation, der umgekehrte von dem, welchen man an dem direct zum Zerleger gelangenden Strahl bemerkt, oder auch an dem Strahl, der unter Incidenzen zwischen dem Winkel der vollständigen Polarisation und der streifenden Incidenz reflectirt wird. Die Erfahrung stimmt vollkommen mit dem Vorausgesehenen überein, und wenn im ersten Fall die schwach violette Farbe des einen der Quarze ins Rosenrothe spielt, so spielt sie beim anderen ins Blaue.

Die Zeichen von h und k finden sich also erwiesen, oder, mit anderen Worten, jene Folgerungen der Gleichung (5) kommen darauf zurück, daſs der Phasenunterschied zwischen den componirenden rechtwinklichen Schwingungen, wenn er bei dem einfallenden Strahl Null ist, bei dem reflectirten Strahl von der senkrechten Incidenz bis zum Winkel der vollständigen Polarisation gleich 180°, und von dem Winkel der vollständigen Polarisation bis zur streifenden Incidenz gleich 360° wird. Die entsprechenden Werthe des Verhältnisses $\frac{h}{k}$ sind successive gleich 1, 0, 1. Diese Schlüsse stimmen übrigens überein mit denen aus den Erscheinungen, die eine senkrecht gegen die Axe geschnittene Quarzplatte zeigt, welche man im Nörremberg'schen Apparat unmittelbar auf das das Licht senkrecht reflectirende Licht legt.

Digitized by Google

Als letzte Prüfung bei verschiedenen Substanzen habe ich den Winkel der vollständigen Polarisation durch die Bedingung bestimmt, daſs das ordentliche und auſserordentliche Bild gleichzeitig von gleichförmiger Farbe seyen. Diese Methode ist leicht; man hat sich nur zu versichern, daſs die Gleichförmigkeit für alle Azimute des Zerlegers verbleibt.

	Polarisations-winkel.	Brechindices nach dem Brewster'-schen Gesetz.	Mittlere Indices.
Wasser	53° 5'	1,331	1,336
Fluſsspath	55 1	1,429	1,434
Entfärbtes Buch-eckernöl	55 43	1,467	1,470

23) Die HH. Mac-Cullagh und Cauchy haben, jeder für sich, fast identische Formeln für die Erscheinungen der Reflexion an Metallen aufgestellt. Herr Mac-Cullagh hat seine Theorie durch einige eigene Versuche unterstützt [1]), und Herrn Cauchy's Formeln sind durch die sehr sorgfältigen Formeln des Herrn Jamin bestätigt worden [2]). Ich werde also nicht auf diesen Gegenstand zurückkommen, sondern nur bemerken, daſs bei den Körpern mit metallischer Opacität, wie bei den durchsichtigen, ein Zeichengegensatz existirt zwischen den Werthen von *cos* φ, die den Incidenzen zwischen Null und dem Winkel des Polarisationsmaximums entsprechen, und denen, die sowohl den Incidenzen zwischen diesem Winkel und dem von 90°, als auch dem directen, ohne intermediäre Reflexion zum doppeltbrechenden Prisma gelangenden Strahl entsprechen; so daſs der Phasenunterschied zwischen den beiden rechtwinklichen Componenten, welcher für den directen Strahl 0° ist, für den reflectirten Strahl bei senkrechter Incidenz 180° wird, und, fortwährend wachsend, beim Winkel des Polarisationsmaximums durch 270° geht und bei der streifenden Incidenz auf 360° gelangt. Die

1) Phil. Magaz., T. XXIV, p. 380.

2) *Ann. de chim. et de phys., S. III, T. XIX, p.* 296. (S. 437 dieses Bandes der Annalen.)

Digitized by Google

entsprechenden Werthe des Verhältnisses $\frac{h}{k}$ sind successive die Einheit, ein Minimum und die Einheit.

Ich habe für einige früher gebrauchte Spiegel die dem Werthe $\varphi = \frac{1}{2}\omega$ entsprechende Incidenz bestimmt und die folgenden Zahlen gefunden:

Bleiglanz, verschiedene Stufen	75° 13′ bis 75° 22′
Stahl	75 27
Münzlegirung	73 33

Diesen Beobachtungen könnte ich einige Zahlen hinzufügen, die ich erhielt, als ich die Natur des Mittels, worin die Reflexion geschah, variirte; allein ich verspare dieselben auf eine andere Arbeit und begnüge mich mit der Bemerkung, daſs man, um dem experimentellen Verfahren seine höchste Empfindlichkeit zu geben, den Werthen von $\cos\varphi$ das Maximum ihres Einflusses lassen, und deshalb ein solches Azimut für den Zerleger wählen muſs, daſs der Coëfficient von φ der gröſstmögliche sey. Dieses Azimut wird also der Gleichung genügen:

$$\sin 2\alpha = 1 \quad \text{oder} \quad \tan g\, \alpha = \pm \frac{h}{k}.$$

und man hat also den Hauptschnitt des Zerlegers so zu drehen, daſs diese Bedingung nahezu erfüllt sey. Bemerken wir überdieſs, daſs die Farbengegensätze desto hervortretender sind und die Empfindlichkeit desto gröſser ist, je mehr das Verhältniſs $\frac{h}{k}$ von der Einheit abweicht. Man hat nämlich gesehen, daſs $\frac{h}{k} = 1$ das ordentliche Bild gleichzeitig mit dem auſserordentlichen von gleichförmiger Farbe macht, wie übrigens auch der Phasenunterschied beschaffen seyn möge.

24) Wir sahen so eben, daſs bei den gewöhnlichen durchsichtigen Körpern beim Polarisationswinkel plötzlich eine Vergröſserung von 180° in dem Phasenunterschied eintritt, und daſs dagegen bei den Körpern mit metal-

Digitized by Google

lischer Undurchsichtigkeit diese Vergröſserung langsam geschieht von der senkrechten Incidenz bis zur streifenden, dabei beim Winkel des Polarisationsmaximums durch 90° gehend.

Die durchsichtigen starkbrechenden Körper bilden gewissermaſsen den Uebergang zwischen diesen beiden Klassen von Mitteln. Die Amplitude der in der Einfallsebene liegende Schwingung annullirt sich für keine Incidenz; sie geht nur durch einen sehr kleinen Minimumwerth, und die von der Reflexion erzeugte Phasendifferenz findet sich zugleich = 270°. Allein dieser Unterschied nimmt schrittweise, obgleich sehr rasch, ab, wenn die Incidenz abnimmt, und wenn sie zunimmt, scheint er noch schneller zu wachsen, so daſs eine kleine Zahl von Graden in der Incidenz mehr oder weniger ihn unmittelbar von 180° auf 270° versetzt, und noch plötzlicher von 270° auf 360°.

Diese Eigenschaften, welche Hr. Airy beim Diamant mittelst der Farbenringe nachgewiesen hat [1]), finden sich auch bei der Blende und bei dem künstlichen Arsensulfid, welches der Arsensäure entspricht.

Die Beobachtung scheint in der That ganz bündig zu seyn. Wenn das Azimut des einfallenden Strahls und der Hauptschnitt des Zerlegers zusammenfallen mit der Reflexionsebene, ist das ordentliche Bild schwach, aber deutlich grün und das auſserordentliche lebhaft und rosenroth; und wenn man den Zerleger langsam dreht, geht das erstere plötzlich aus dem Grün in einen bleichen, fast farblosen Farbenton über, dem unmittelbar das Rosenroth folgt.

Ich habe gesucht alle Zweifel an dieser feinen Probe des experimentellen Verfahrens auf folgende Weise zu heben.

Wenn zwischen den beiden rechtwinklichen Componenten ein Phasenunterschied von mehr oder weniger

1) Ann. Bd. 28, S. 75.

Digitized by Google

nahe an 270° vorhanden ist, so kann man den einfallenden Strahl immer in einem solchen Azimut polariſiren, daſs die reflectirte Schwingung mehr oder weniger einer circularen gleichkommt. Der reflectirte Strahl, zerlegt mittelst einer senkrecht gegen die Axe geschnittenen Kalkspathplatte und eines Turmalins, entwickelt dann mehr oder weniger Farbenringe mit einem schwarzen Kreuz. Dieſs beobachtet man in der That sehr leicht am Schwefelarsen und an der Blende.

Endlich habe ich an dieſen Substanzen mit einem kleinen Fluſsspathprisma, dessen convexe Base als Linse diente, die von Hrn. Airy beschriebenen Erscheinungen[1]) wiederholt. Zuweilen ist es mir gelungen, die Ringe unter den von diesem berühmten Physiker bemerkten Umständen wahrzunehmen, aber ich habe nicht nach Belieben die Umstände der Beleuchtung, welche den Erfolg der Versuche bedingen, realisiren gekonnt.

Ich fand die Winkel der Polarisationsmaxima:

bei verschiedenen Stücken durchscheinender Blende von mehr oder weniger dunkler Farbe zwischen	66° 4′ und 66° 23′
beim Schwefelarsen	66 51.

25) Die Erscheinungen, welche die Reflexion des Lichts an durchsichtigen krystallisirten Körpern begleiten, sind von Hrn. Brewster entdeckt, von Hrn. Seebeck ausgedehnten Versuchen unterworfen, und von den HH. Mac-Cullagh und Neumann zum Gegenstande theoretischer Untersuchungen gemacht.

Durch völlig analoge Betrachtungen, wie sie Fresnel angewandt hatte, aber gestützt auf andere Principien sind diese geschickten Mathematiker beide zu denselben Resultaten gelangt. Die Formeln des Hrn. Neumann umfassen das Problem in seiner ganzen Allgemeinheit und schlieſsen als besonderen Fall die von Fresnel ein. Nur ist zu bemerken, daſs wegen Verschiedenheit der Grundhypothesen die Formeln, welche bei Fresnel für die einen Schwingungen gelten, bei den HH. Mac-Cul-

1) *Transact. of the Cambridge phil. Soc*, 1832. (Ann. Bd. 28. S. 75.)

lagh und Neumann auf die darauf rechtwinklichen Schwingungen übertragen sind.

Die Ablenkung der Polarisationsebene des natürlichen Lichts, welches sich durch Reflexion am Kalkspath polarisirt, der Unterschied der Polarisationswinkel an verschiedenen Flächen und, an einer selben Fläche, für verschiedene Richtungen der Einfallsebene sind von den HH. Brewster und Seebeck erwiesen worden, und die Formeln des Hrn. Neumann stellen die ungemein genauen Beobachtungen des letzteren Physikers bewundernswürdig dar. Es bleibt also wenig zu thun übrig, und man muſs erwarten, die Erfahrung in allem Detail von der Theorie überflügelt zu finden. Ich begnüge mich hier, zwei besondere Fälle zu betrachten, welche Hr. Seebeck vernachlässigt zu haben scheint, nämlich die Bestimmung der schiefen Incidenzen, welche die Amplituden der beiden componirenden Schwingungen in gleichem Verhältniſs verringern, und folglich der reflectirten Schwingung ein im absoluten Werthe gleiches Azimut, wie das der einfallenden Schwingung, lassen; und die Bestimmung der Aenderung, welche der absolute Werth des Azimuts eines polarisirten Strahls durch seine Reflexion unter senkrechter Incidenz erfährt.

Diese Erscheinungen sind ganz charakteristich für die Reflexion an Krystallen; beide finden sich auch bei den Krystallen mit metallischer Undurchsichtigkeit. Die zweite ist hier sogar, wie bei den durchsichtigen Krystallen, befreit von aller aus der elliptischen Polarisation entspringenden Complication. Erst nachdem ich diese beiden Eigenthümlichkeiten der Reflexion an opaken Krystallen durch Erfahrung aufgefunden hatte, und ohne zuvor daran gedacht zu haben, erkannte ich die Nothwendigkeit, sie an durchsichtigen Krystallen nachzuweisen.

Ich werde zunächst die Formeln des Hrn. Neumann beibringen [1]). Seyen:

1) In den Schriften der Berliner Academie für 1835. *Journ. de math. de Mr. Liouville, T. VII.*

Digitized by Google

I, J die Amplituden der zur Einfallsebene normalen und parallelen Schwingungen des reflectirten Strahls;
λ . . die Neigung der reflectirenden Fläche gegen die optische Axe;
μ . . der Winkel zwischen d. Schnitten der Einfallsebene u. des Hauptschnitts auf d. reflectirenden Fläche;
i . . Einfallswinkel;
r und ϱ Winkel der ordentlichen Brechung, und ein Hülfswinkel;
m und m' Indices der ordentlichen und auſserordentlichen Brechung:

$$\sin i = m \sin r,$$

$$m^2 m'^2 \sin^2\varrho = \sin^2 i\,[m^2 - (m^2 - m'^2)(\sin\lambda \cos\varrho - \cos\lambda \cos\mu \sin\varrho)^2].$$

Seyen ferner:
ω . . Veränderungsazimut des einfallenden Strahls;
W, P, Q, S, T numerische Coëfficienten; — so hat man die folgende Reihe von Gleichungen:

$$I = P \sin\omega + Q \cos\omega. \qquad J = S \sin\omega + T \cos\omega.$$

$$W = \cos^2\lambda \sin^2\mu \sin(i+r) \cos(i-r) \sin(i+\varrho) + \sin(i+r)(\sin\lambda \sin r - \cos\lambda \cos\mu \cos r)\left[\begin{array}{l}\sin\lambda(\sin\varrho \sin i \cos i + \cos\varrho \sin^2 r)\\ -\cos\lambda \cos\mu(\cos\varrho \sin i \cos i - \sin\varrho \cos^2 r)\end{array}\right].$$

$$W.\,P = \cos^2\lambda \sin^2\mu \sin(i-r) \cos(i+r) \sin(i+\varrho) + \sin(i+r)(\sin\lambda \sin r - \cos\lambda \cos\mu \cos r)\left[\begin{array}{l}\sin\lambda(\sin\varrho \sin i \cos i - \cos\varrho \sin^2 r)\\ -\cos\lambda \cos\mu(\cos\varrho \sin i \cos i - \sin\varrho \cos^2 r)\end{array}\right].$$

$$-W.\,Q = \cos\lambda \sin\mu (\sin\lambda \sin r - \cos\lambda \cos\mu \cos r) \sin 2i \sin(r-\varrho).$$

$$-W.\,S = \cos\lambda \sin\mu (\sin\lambda \sin r + \cos\lambda \cos\mu \cos r) \sin 2i \sin(r-\varrho).$$

$$-W.\,T = \cos^2\lambda \sin^2\mu \sin(i+r) \cos(i-r) \sin(i+\varrho) + \sin(i-r)(\sin\lambda \sin r - \cos\lambda \cos\mu \cos r)\left[\begin{array}{l}\sin\lambda(\sin\varrho \sin i \cos i + \cos\varrho \sin^2 r)\\ -\cos\lambda \cos\mu(\cos\varrho \sin i \cos i - \sin\varrho \cos^2 r)\end{array}\right].$$

Digitized by Google

Mit Hülfe dieser Formeln und der Annahme $\omega = 45^\circ$ berechnet man die weiterhin folgenden Werthe von I u. J.

26) Ich suchte den $I = \pm J$ entsprechenden Einfallswinkel auf, operirend mit einer künstlichen Kalkspathfläche, die unter den von Hrn. Seebeck empfohlenen Vorsichtsmaſsregeln polirt worden, und mit einer natürlichen Spaltfläche. Ich befestigte das Azimut der Schwingung des einfallenden Strahls und das des Hauptschnitts des Zerlegers bei 45°, und bestimmte die Incidenz, welche sowohl das auſserordentliche wie das ordentliche Bild verschwinden machte. Wenn ich mit der Spaltungsfläche operirte, wandte ich den Doppelquarz nicht an, aus Gründen, die am Ende des §. 17. angegeben sind; wenn ich mit der der Axe fast parallelen Fläche operirte, fand ich, daſs diese Methode und die directe Beobachtung fast identische Resultate gaben.

Wenn die Einfallsebene parallel ist dem Hauptschnitt genügt keine Incidenz der Aufgabe. Diese Ebene ward also immer normal gestellt und der Krystall successive in Luft, Wasser und durch Thierkohle entfärbtes Buchekernöl getaucht. Der Index dieses Oels fand sich für die grünen Strahlen gleich 1,470, so daſs sich die Indices der ordentlichen und auſserordentlichen Brechung m und m' des Kalkspaths successive ergaben gleich:

	In Luft.	Im Wasser.	Im Oel.
m	1,654	1,238	1,1252
m'	1,483	1,110	1,0089

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tafel vereint.

Neigung der reflectirend. Fläche gegen die Axe.	Beobachtete Incidenzen.	Berechnete Werthe für I.	Berechnete Werthe für J.
	In Luft.		
45° 23′	16° 00′	− 0,252	+ 0,246
0 7	23 47	− 0,2188	+ 0,2190
	Im Wasser.		
45° 23′	26° 15′	− 0,1718	+ 0,1704
0 7	33 0	− 0,071	+ 0,072
	75 59	− 0,551	− 0,543

Digitized by Google

Neigung der reflectirend. Fläche gegen die Axe.	Beobachtete Incidenzen.	Berechnete Werthe für I.	J.
	Im Oel.		
45° 23′	36° 16′	— 0,0653	+ 0,0656
0 7	$>$ 45 0	— 0,0087	+ 0,011
	51 7	— 0,0109	— 0,011

Diese Tafel giebt zu einigen Bemerkungen Anlaſs.

Man sieht, wenn die reflectirende Fläche in gewisse Mittel taucht, so entsprechen zwei Winkel schiefen Einfalls, der eine über, der andere unter dem Polarisationswinkel, den Amplituden $-I=+J$ und $I=-J$. Diese Eigenschaft gehört wahrscheinlich der Spaltungsfläche wie der der Axe parallelen Fläche; allein um zum gröſsten Winkel zu gelangen, hätte man dem reflectirten Strahl bis zu sehr schiefen Incidenzen folgen müssen, die man nicht mit dem Instrument erreichen konnte.

Wenn die Kalkspathfläche in Oel getaucht ist, ist das reflectirte Licht immer sehr schwach, und zum Gelingen sind Sonnenstrahlen erforderlich. Bei einer der Axe parallelen Fläche konnte ich selbst hiedurch nicht zum kleinsten Winkel gelangen. Ich konnte nur ermitteln, daſs dieser Winkel über 45° betragen müsse. Die berechneten Amplituden entsprechen 45° und stimmen mit diesem Schluſs.

Das Verhältniſs $\frac{I}{J}$ scheint nahe bei der Incidenz, welche es gleich eins macht, sich nicht sehr schnell zu ändern, besonders in der Luft. Die durch Versuche gefundenen Winkel können demnach merklich von der Wahrheit abweichen, obgleich die entsprechenden berechneten Werthe sich der Gleichheit im absoluten Werthe nähern.

27) Zum Studium der Verhältnisse, in welchem die Reflexion, bei senkrechter Incidenz, die Amplituden der zum Hauptschnitt parallelen und winkelrechten Schwingungen verringert, wandte ich das folgende Verfahren an.

Das

Das auſserhalb der Einfallsebene polarisirte Licht fällt unter einem von dem der vollständigen Polarisation verschiedenen Einfallswinkel auf ein dünnes Glas mit parallelen Flächen. Der reflectirte Theil trifft hierauf senkrecht einen horizontalen Spiegel, kehrt in sich zurück, um abermals auf die Glasplatte zu fallen, durchdringt sie und gelangt endlich zum Zerleger, einem doppeltbrechenden Prisma.

Man regulirt übrigens die Lage des Spiegels, indem man sich versichert erstlich, daſs die Diaphragmen des senkrechten Sehrohrs mit ihren eignen Bildern vollkommen in einer Linie liegen, und darauf, daſs dasselbe der Fall sey mit den reflectirten Bildern der beiden Diaphragmen, durch welche der einfallende Strahl geht, und den Diaphragmen des senkrechten Sehrohrs.

Taucht man den Spiegel in eine Flüssigkeit, so muſs man darauf achten, die reflectirende Fläche etwas aus dem Parallelismus mit der Oberfläche der Fläche abzulenken, um die reflectirten Bilder von einander zu trennen. Diese schwache Neigung stört die Resultate nicht merklich.

Der mit dem zerlegenden Prisma aufgefangene Strahl besitzt noch die ebene Polarisation. Man kann also sein Schwingungsazimut auf gewöhnliche Weise messen, indem man die Lage des Hauptschnitts bestimmt, bei welchem eins der beiden Bilder verschwindet.

Dieses Azimut ändert sich, sobald, bei übrigens gleichen Umständen, die reflectirende Fläche in ihrer eigenen Ebene gedreht wird. Miſst man hiebei die beiden successiven Schwingungsazimute des reflectirten Strahls, so kann man berechnen, in welchem Verhältniſs die Amplitude der zum Hauptschnitt des Krystalls parallelen und normalen Schwingungen verringert worden ist.

Man kann auch den Doppelquarz anwenden und die beiden Azimute bestimmen, welche die den beiden rechtwinklichen Lagen der reflectirenden Fläche entsprechenden ordentlichen Bilder von gleichförmiger Farbe machen.

Digitized by Google

Ich begnüge mich, die für das erste Verfahren erforderliche Rechnung zu entwickeln; das zweite führt zu ähnlichen Formeln, die man leicht ergänzen wird.

Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, und sey überdieſs die zur Einfallsebene der Glasplatte parallele Schwingung durch ihre Reflexion und durch ihre vierfache Refraction beim Ein- und Austritt aus der Glasplatte und der den Spiegel umgebenden Flüssigkeit im Verhältniſs $\frac{n}{1}$ in der Amplitude verringert. Sey die Amplitude der zu jener Einfallsebene normalen Schwingung durch dieselben Ursachen im Verhältniſs $\frac{m}{1}$ verringert. Nennen wir endlich h und k die Coëfficienten der Verringerung, welche die senkrechte Reflexion den zum Hauptschnitt parallelen und winkelrechten Schwingungen einprägt.

Wenn der Hauptschnitt zusammenfällt mit der Einfallsebene der Glasplatte, so besitzen die beiden Schwingungen des ausfahrenden Strahls bei ihrem Einfall auf den Zerleger die Amplituden:

$$n\,h\,\cos\omega. \qquad\qquad m\,k\,\sin\omega.$$

Ist der Hauptschnitt winkelrecht auf der Einfallsebene der Glasplatte, so werden diese Amplituden vorgestellt durch:

$$n\,k\,\cos\omega. \qquad\qquad m\,h\,\sin\omega.$$

Nennt man also a, $a_{\prime}$ die beiden successiven Schwingungsazimute des ausfahrenden Strahls, so hat man:

$$\tang a = \frac{mk}{nh}\tang\omega, \qquad\qquad \tang a_{\prime} = \frac{mh}{nk}\tang\omega,$$

und daraus:

$$\frac{h^2}{k^2} = \frac{\tang a_{\prime}}{\tang a}.$$

Anlangend die theoretischen Werthe von h und k, so kann man sie aus den Formeln des Hrn. Neumann entnehmen oder, ohne Rücksicht auf die allgemeine Theorie, selbst aus den Formeln von Fresnel.

Bekanntlich erleidet eine Schwingung durch senkrechte Incidenz eine Verringerung der Amplitude, die durch $\frac{l-1}{l+1}$ vorgestellt wird, wenn l das Verhältniſs der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der ebenen Wellen im ersten und zweiten Mittel bezeichnet. Nun ist für die zum Hauptschnitt senkrechte Schwingung dieſs Verhältniſs genau der gewöhnliche Brechindex m. Für die mit diesem Hauptschnitt parallele Schwingung ist dieſs Verhältniſs, zufolge der bekannten Gesetze der Doppelbrechung, gleich:

$$\frac{m m'}{\sqrt{m^2 \cos^2\lambda + m'^2 \sin^2\lambda}} = \mu,$$

so daſs man hat:

$$\frac{h}{k} = \frac{\mu - 1}{\mu + 1} \cdot \frac{m + 1}{m - 1}.$$

Dieſs sind die Methoden der Beobachtung und Rechnung, welche die folgenden Resultate geliefert haben:

$a = 45°$.

Neigung der reflectirend. Fläche gegen die Axe.	Werthe von a_μ	Werthe von $\frac{h}{k}$. Beobachtet.	Berechnet.
	In Luft.		
0° 7′	31° 42′	0,7859	0,7894
45 23	38 32	0,8924	0,8902
	Im Wasser.		
0° 7′	13° 42′	0,4937	0,4902
45 23	28 18	0,7329	0,7355
	Im Oel.		
0° 7′	0° 26′	0,08697	0,0752
45 23	0 3	0,02954	0,05184

Die letzten Beobachtungen entfernen sich merklich vom theoretischen Resultat, weil die gemessenen Winkel klein sind. Sie treten in die Berechnung von $\frac{h}{k}$ als Quadratwurzel aus ihrer Tangente. Die Beobachtungsſehler haben also einen verhältniſsmäſsig bedeutenden Einfluſs. Ueberdieſs muſs man erwägen, daſs das re-

Digitized by Google

flectirte Licht eine sehr schwache Intensität besitzt, und daſs es demgemäſs schwierig ist, das Polarisationsazimut zu messen.

Wenn man sich des Doppelquarzes bedient und in Wasser oder besonders in Oel operirt, so kann man bemerken, daſs, selbst ohne Zerleger, die Farben des reflectirten Bildes sich bedeutend ändern, wenn man die reflectirende Fläche in ihrer Ebene dreht. Diese Thatsache ist übrigens eine natürliche Folge des groſsen Unterschiedes der Werthe von *h* und *k*, weil, wenn eine dieser Gröſsen Null ward, der Spiegel wie ein wahrhafter Zerleger wirkte, der successiv in zwei rechtwinkliche Lagen gebracht worden.

28) Nach diesen Präliminarien schreite ich zur Anwendung des Verfahrens auf die mit metallischer Undurchsichtigkeit begabten Krystalle.

Zu Versuchen über die Lichtreflexion eignen sich nur wenige Substanzen von dieser Eigenschaft und sie gehören nicht zum regulären System. Ich habe nur mit *Schwefelantimon* und mit *Bournonit* operiren können. Der Eisenglanz, der in der That nicht undurchsichtig ist, nähert sich durch seine optischen Eigenschaften mehr den durchsichtigen stark brechenden Körpern als den mit metallischer Undurchsichtigkeit begabten.

Selbst der Bournonit zeigt auf den von mir untersuchten Flächen die von der Doppelbrechung abhängigen Eigenschaften nur in unmerklicher Weise, so daſs meine Versuche wirklich nur das Schwefelantimon betreffen. Da diese Versuche den Hauptgegenstand dieser Abhandlung ausmachen, so werde ich sie etwas ausführlich auseinandersetzen.

Das Schwefelantimon krystallisirt in geradem rhomboïdalen Prisma, gehört also zur Klasse der Krystalle mit zwei optischen Axen. Die Spaltungsebene halbirt den Winkel der schiefen Axen und enthält die senkrechte Axe.

Stellt man eine Spaltungsfläche so auf, daſs man sie

Digitized by Google

in ihrer Ebene drehen kann, so erkennt man sogleich als allgemeines, allen Incidenzen gemeinsames Phänomen, daſs die beiden Segmente, z. B. des ordentlichen Bildes, welche man zuvor auf gleichförmige Farbe gebracht hatte, als die Axe des Krystalls der Einfallsebene parallel war, allmälig, so wie man den Spiegel dreht, in zwei entgegengesetzte Farbentöne übergehen, und dieser Gegensatz in den Farben scheint sein Maximum zu erreichen, wenn die Axe winkelrecht zur Einfallsebene geworden ist.

Geht man nun von der streifenden Incidenz aus und führt jedesmal eins der beiden Bilder auf die Gleichförmigkeit zurück, so sieht man die Farben der beiden Segmente des anderen Bildes einander nähern, in dem Maaſse wie die Incidenz zunimmt.

Gegen die Incidenz von 78° 30′ nehmen beide Bilder zugleich eine gleichförmige Farbe an, sobald die Axe des Krystalls parallel zur Einfallsebene ist. Ist sie dagegen senkrecht auf ihr, so bleibt das auſserordentliche Bild in seinen Hälften von recht verschiedenen Farben, wenn das ordentliche Bild von gleichförmiger Farbe ist.

Gegen 76° 40′ Incidenz ist die Erscheinung umgekehrt. Die beiden Bilder nehmen zugleich eine gleichförmige Farbe an, sobald die Krystallaxe winkelrecht zur Einfallsebene ist. Wenn sie dagegen ihr parallel ist, bleibt das auſserordentliche Bild in den Hälften von verschiedener Farbe, während das ordentliche die Gleichförmigkeit erreicht.

Je nachdem also die Krystallaxe parallel oder normal zur Einfallsebene ist, schwankt der Einfallswinkel, welcher $\varphi = \frac{1}{2}\,\omega$ entspricht, von 78° 30′ bis 76° 40′ etwa.

So fortfahrend sieht man die Farbenerscheinungen denselben Gang wieder annehmen, den sie ursprünglich befolgten, und wenn man immer das ordentliche Bild zur Gleichförmigkeit zurückführt, erscheinen die beiden Segmente des auſserordentlichen Bildes in Farben, deren

Digitized by Google

Contrast anfangs mit abnehmender Incidenz zunimmt, aber zuletzt wiederum schwächer wird.

Wenn die Incidenz etwa 18° 30′ erreicht, gelangen beide Bilder, das ordentliche und das auſserordentliche, gleichzeitig zu gleichförmiger Farbe, obwohl sie gegen einander complementar gefärbt bleiben, sobald die Krystallaxe parallel der Einfallsebene ist. Ist sie dagegen winkelrecht auf dieser, so bleibt das auſserordentliche Bild in seinen Hälften verschiedenfarbig, wenn das ordentliche Bild eine gleichförmige Farbe annimmt. Unter der Incidenz von 18° 30′ ist also das Verhältniſs $\frac{h^2}{k^2}$ der Einheit gleich, sobald die Krystallaxe parallel der Einfallsebene liegt.

Nimmt endlich die Incidenz noch mehr ab, so hören die beiden Bilder abermals auf gleichzeitig von gleichförmiger Farbe zu seyn, wie auch die Krystallaxe liegen möge.

29) Sind einmal diese unterscheidenden Kennzeichen der Krystallreflexion durch die ihr ausschlieſslich eigenen Folgerungen festgestellt und zwar unabhängig von jeder Messung, so ist die Beweisführung vollständig und bedarf nicht der Stütze durch numerische Bestimmungen, da sie nichts hinzufügen würden. Dennoch habe ich diese nicht vernachlässigt, trotz der Unsicherheiten, welche die Dispersion auf diese Art von Versuchen wirft. In der folgenden Tafel habe ich die beobachteten Winkel und die daraus mittelst der Formel (3) hervorgehenden Werthe von $\frac{h}{k}$ zusammengestellt.

Die Messungen sind nahe beim Winkel des Polarisationsmaximums unsicher. Die Dispersion gewinnt nämlich einen bedeutenden Einfluſs, und überdieſs wird die Function, welche die Werthe der Azimute ω der Schwingung des einfallenden Strahls a und a' des Hauptschnitts

des Zerlegers mit einander verknüpft, discontinuirlich, indem sie durchs Unendliche geht.

Wie dem auch sey: nimmt man die Einfallswinkel zu Abscissen und die Werthe von $\frac{h}{k}$ zu Ordinaten, so kann man durch alle sonach bestimmten Punkte eine Curve legen, welche dieselben mit einander verbindet. Ihre Gestalt ist sehr regelmäſsig, und in Ermangelung einer theoretischen Controle, gewährt diese Regelmäſsigkeit sogar eine Bürgschaft für die Genauigkeit. Der Gang dieser Curve zeigt übrigens in sehr wahrscheinlicher Weise an, daſs für zwei gegen die reflectirende Fläche rechtwinklichen Lagen der Einfallsebene das Verhältniſs $\frac{h}{k}$ gegen die Einheit convergirt, in dem Maaſse als die Incidenz sich 90° nähert.

Digitized by Google

Incidenzen.	Axe parallel der Einfallsebene. $\omega_0 =$ Azimut a.	a'.	Entsprechende Werthe von $\frac{h}{k}$.	$\omega_{\prime} =$ Azimut a.	a'.	Entsprechende Werthe von $\frac{h}{k}$.	Axe winkelrecht zur Einfallsebene. $\omega_0 =$ Azimut a.	a'.	Entsprechende Werthe von $\frac{h}{k}$.	$\omega_{\prime} =$ Azimut a.	a'.	Entsprechende Werthe von $\frac{h}{k}$.	Mittelwerthe von $\frac{h}{k}$. Axe parallel.	Axe winkelrecht.
0°00													1,063	0,941
18 30			1,000			1,000	47°41′	132°14′	0,909				1,000	0,909
30 00	62°17′	148°36′	0,928	37°45′	123°48′	0,930	64 22	146 13	0,847	34°57′	116° 6′	0,837	0,929	0,842
35 00	63 14	147 33	0,891	38 34	122 34	0,895	65 7	144 36	0,808	36 5	115 6	0,802	0,893	0,805
40 00	64 33	146 1	0,840	40 22	121 8	0,843	66 16	143 00	0,764	37 36	114 00	0,760	0,841	0,762
45 00	65 18	144 15	0,790	42 12	119 25	0,790	67 45	140 42	0,707	39 38	112 24	0,705	0,790	0,706
50 00	67 27	142 10	0,731	44 32	117 28	0,727	69 15	137 58	0,648	42 20	110 33	0,641	0,729	0,644
55 00	69 43	138 35	0,647	47 54	114 50	0,647	71 24	134 31	0,575	45 49	108 26	0,569	0,647	0,572
60 00	72 15	134 14	0,558	51 55	111 54	0,560	73 47	129 57	0,492	50 30	105 46	0,482	0,559	0,487
62 30	73 38	131 34	0,510	54 28	110 10	0,524	75 1	126 51	0,448	53 22	104 24	0,437	0,517	0,445
65 00	75 4	128 44	0,462	57 16	108 10	0,458	76 23	123 24	0,399	56 42	103 8	0,393	0,460	0,396
67 30	76 56	125 4	0,403	60 30	106 00	0,403	77 58	119 23	0,346	60 47	101 38	0,339	0,403	0,342
70 00	78 54	120 7	0,337	64 53	103 32	0,336	79 26	114 25	0,291	65 12	101 24	0,291	0,336	0,291
72 00	80 38	115 19	0,279	68 40	101 33	0,282	80 12	109 36	0,248	69 29	99 37	0,252	0,280	0,250
74 00	82 3	110 22	0,228	72 54	99 23	0,225	80 30	104 34	0,208	75 9	99 24	0,210	0,226	0,209
76 00	82 30	104 11	0,182	78 13	98 12	0,173							0,177	
76 36							80 35 99 23	99 23 80 35	0,166	80 30 90 28	99 28 80 30	0,167		0,166
78 00							99 25	78 30	0,184	100 35	80 30	0,177		0,180
78 30	82 36 98 3	98 3 82 36	0,1404	82 36 89 3	98 3 82 4	0,1404							0,1404	
80 00	98 7	78 18	0,172	100 29	82 2	0,161	99 34	71 30	0,237	107 55	80 6	0,237	0,166	0,237
82 00	98 54	68 34	0,248	107 37	80 6	0,233	101 00	63 12	0,313	116 40	78 48	0,315	0,240	0,314
84 00	102 13	58 58	0,361	116 58	75 30	0,263	104 18	54 48	0,424	125 51	75 44	0,429	0,362	0,426
86 00	106 39	49 9	0,508	125 46	70 25	0,506	108 31	45 48	0,571	134 36	71 42	0,571	0,507	0,571
88 00	112 40	38 37	0,723	136 00	62 19	0,737	113 46	37 8	0,763	142 47	67 3	0,747	0,730	0,755

Digitized by Google

Ich habe geſucht, die Beſtimmung der $\varphi = 90°$ entſprechenden Werthe von $\frac{h}{k}$ dem Einfluſs der Dispersion zu entziehen, und bin daher zu der Methode des §. 12 zurückgekehrt, ein rothes Glas anwendend. Ich habe dabei, wenn die Einfallsebene folgeweiſe parallel und winkelrecht zur Axe war, die Zahlen 0,153 und 0,165 erhalten. Allein obwohl dieſe Zahlen Mittelwerthe aus 20 Verſuchen ſind, können ſie doch kein groſses Vertrauen einflöſsen, weil die einzelnen Beſtimmungen oft bedeutend von einander abweichen.

Es iſt um ſo mehr zu bedauern, daſs die Dispersion die Reſultate in der Nähe der $\varphi = 90°$ entſprechenden Incidenz ſtört, als es wichtig ſeyn würde zu bewahrheiten, daſs bei der Reflexion an metalliſchen Kryſtallen, wie bei der Reflexion an gewöhnlichen Metallen, das Minimum des Verhältniſſes $\frac{h}{k}$ gleichfalls dieſer Incidenz entſpricht. Sehr wahrſcheinlich iſt dem alſo, aber man kann es noch nicht als eine ſtreng bewieſene Thatſache anſehen.

30) Die vorſtehenden Beobachtungen, ſubſtituirt in der Gleichung (4), würden die entſprechende Reihe der Werthe von φ geben; man müſste nur die Werthe von ω mit Genauigkeit beſtimmen. Dieſe Formel erfordert die Kenntniſs dreier Winkel. Ich habe mich überdieſs verſichert, daſs in gewiſſen Fällen ein kleiner Fehler in den Werthen von a und a' hinreicht, um ſehr beträchtliche in der Berechnung von φ zu veranlaſſen. Dieſe Beobachtungsweiſe iſt alſo ſchwierig anwendbar, und ich glaube, man wird ihr die folgende vorziehen müſſen.

Man befeſtige den Zerleger in einer unveränderlichen Lage und beſtimme das Schwingungsazimut ω des einfallenden Strahls, welches z. B. das ordentliche Bild von gleichförmiger Farbe macht:

$$\tan 2\omega = \cos\varphi \tan 2\alpha.$$

Digitized by Google

Man wiederhole dieselbe Operation, nachdem man in die Bahn des einfallenden oder reflectirten Strahls ein Fresnel'sches Parallelepiped gestellt hat, und zwar mit seinem Hauptschnitt parallel oder senkrecht zur Einfallsebene. Dadurch wird das Verhältniſs $\frac{h}{k}$ und folglich der Winkel α nicht geändert, aber der Phasenunterschied φ wird um eine Gröſse ε vergröſsert oder verringert. Man hat also:

$$tang\, 2\,\omega' = cos\,(\varphi \pm \varepsilon)\; tang\, 2\,\alpha,$$

woraus:

$$tang\,(\varphi \pm \tfrac{1}{2}\varepsilon) = \pm \frac{sin\, 2\,(\omega - \omega')}{sin\, 2\,(\omega + \omega')}\, cot\,.\, \frac{\varepsilon}{2}.$$

Nach dieser Methode habe ich einige Versuche gemacht, welche mir aber wenig genügend erschienen. Da indeſs das Instrument, dessen ich mich bediente, sich schlecht zur Anwendung des Fresnel'schen Parallelepipedes eignete, und andererseits die Bestimmung der Werthe von φ wenig zu dem von mir beabsichtigten Beweis des Phänomens beiträgt, so hielt ich es für keinen Nachtheil, diese Versuche bis zu gelegener Zeit zu verschieben. Nur habe ich mich mittelst einer gegen die Axe senkrechten Kalkspathplatte und eines Turmalins überzeugt, daſs der reflectirte Strahl nur bei den Incidenzen zwischen 40° und 88° merklich depolarisirt ist, und daſs bei diesen äuſsersten Gränzen die Depolarisationserscheinungen zweifelhaft und kaum wahrnehmbar sind; dieſs- und jenseits sind sie ganz unmerklich.

31) Dieselbe Reihe von Bestimmungen an Schwefelantimon, das in Wasser oder Oel getaucht ist, wäre nicht ohne Wichtigkeit. Ich habe sie indeſs nicht unternommen, weil mein Instrument mir nicht erlaubt haben würde, den reflectirten Strahl bis zu sehr schiefen Incidenzen zu verfolgen, was am meisten Interesse haben würde.

Ich habe mich begnügt, so viel wie möglich den

Digitized by Google

Werth der schiefen Incidenz zu bestimmen, der dem Verhältniſs $\frac{h}{k} = -1$ entspricht. Ich fand diese Incidenz:

in Luft	= 18°	30′
- Wasser	= 24	40
- Oel	= 27	0

Die Einfallsebene dabei immer parallel der Krystallaxe. Ich bemerke übrigens nochmals, daſs der Versuch eine groſse Unsicherheit hinterläſst, weil das Verhältniſs $\frac{h}{k}$ mit der Incidenz in der Nähe ihres der Einheit gleichen Werthes ziemlich langsam zu variiren scheint.

32) Die lothrechte Reflexion am Schwefelantimon zeigt durchaus dieselben Eigenthümlichkeiten, wie die am Kalkspath. Das reflectirte Licht bleibt geradlinig polarisirt, mithin sind die Erscheinungen in allen Stücken vergleichbar. Indeſs sind die ersteren weniger deutlich, weil die Doppelbrechung weniger kräftig zu seyn scheint, und die wachsende Brechbarkeit der Mittel, in welchen die Reflexion geschieht, nothwendigerweise weniger Einfluſs hat. Man bemerkt überdieſs beim Schwefelantimon eine schwache, aber deutliche Farbenzerstreuung, welche nichts anders ist, als eine nothwendige Folge des Dispersionsvermögens der Materie.

Ich habe den Versuch durchaus wie beim Kalkspath angestellt, und zwar an verschiedenen Individuen. Aus Furcht, die natürliche Politur der Flächen durch Abwischen zu verderben, tauchte ich einige anfangs in Wasser und darauf in Oel, andere anfangs in Oel und dann in Wasser. Der Krystall No. 2 war seit lange abgespalten, vielleicht hatte sein Glanz etwas gelitten.

Digitized by Google

No. der Krystalle.	In Luft. *a*.	*a'*.	$\frac{k}{h}$.	In Wasser. *a*.	*a'*.	$\frac{h}{k}$.	In Oel. *a*.	*a'*.	$\frac{h}{k}$.
1	48° 26′	45° 0′	1,062						
	42 5	33 36	1,064						
2	44 52	41 40	1,058	44° 52′	40° 24′	1,081	44° 52′	39° 34′	1,097
3	44 52	41 10	1,067	44 52	39 52	1,092	44 52	39 11	1,108
4	48 25	44 52	1,063	49 54	44 52	1,093	50 51	44 52	1,106

33) Bisher war bloſs davon die Rede, was vorhergehe, wenn die Einfallsebene parallel oder winkelrecht zur Krystallaxe sey. Dehnt man durch Induction die Ideen Fresnel's über die durchsichtigen Krystalle auf die mit metallischer Undurchsichtigkeit begabten aus, so lassen Gründe der Symmetrie glauben, daſs, nach diesen Richtungen, die Einfallsebene und die reflectirende Fläche mit den beiden Hauptschnitten der Wellenfläche zusammenfallen. Man konnte daher in den vorherigen Schluſsfolgen implicite voraussetzen, daſs, für diese beiden Hauptlagen der Einfallsebene, ein zu dieser Ebene parallel oder winkelrecht schwingender Strahl auch nach der Reflexion in derselben Richtung zu schwingen fortfahren würde. Wäre die Einfallsebene nicht mehr normal oder parallel zur Axe, so würde sie nicht mehr mit einem der Hauptschnitte der Wellenfläche zusammenfallen, und es würde nicht mehr erlaubt seyn, die frühere Voraussetzung zu machen. Eine zur Einfallsebene parallele oder normale Schwingung müſste dagegen für sich allein dem reflectirten Strahl zwei Componenten liefern, eine parallel und eine normal zur Einfallsebene.

Der Versuch bestätigt diese Betrachtungsweise und kann auf mehrfache Weise angestellt werden.

Man kann zuvörderst, ohne sich des Doppelquarzes zu bedienen, die Hauptschnitte des Nicol'-

Digitized by Google

schen Objectivprismas und des zerlegenden doppeltbrechenden Prismas parallel oder winkelrecht zur Einfallsebene stellen. So lange auch die Axe der Krystalle parallel oder winkelrecht zu dieser Ebene ist, verschwindet eins der beiden Bilder vollständig, und mithin ist die Schwingung sich nach der Reflexion parallel geblieben. Wenn dagegen die Krystallaxe gegen die Einfallsebene neigt, erlöscht keins der beiden Bilder; nur färbt sich das eine von ihnen dunkelblau oder violettroth durch die Drehung des Zerlegers.

Man kann auch den Doppelquarz auf gewöhnliche Weise anwenden und den Hauptschnitt des Nicol'schen Objectivprismas und des Zerlegers parallel oder winkelrecht zur Einfallsebene stellen. Wenn die Krystallaxe parallel oder winkelrecht zu dieser Ebene ist, nehmen das ordentliche und das aufserordentliche Bild beide eine gleichförmige Farbe an. Dreht man dagegen die reflectirende Fläche in ihrer Ebene und läfst das Nicol'sche Prisma, so wie den Zerleger, unbeweglich, so sieht man jedes Bild in zwei Segmente von merklich verschiedener Farbe zerfallen.

Diese Beobachtungen reichen hin zu zeigen, dafs es wenigstens eine Ablenkung der Polarisationsebene giebt, aber sie beweisen nicht, ob in dem uns beschäftigenden Falle das reflectirte Licht elliptisch polarisch sey oder nicht. Das Beharren der vom Zerleger erzeugten Bilder könnte nämlich eine blofse Wirkung der Dispersion seyn, und andererseits schwächt ein rothes Glas die Intensität genugsam, um das dunklere Bild verschwinden zu lassen. Zerlegt man aber den reflectirten Strahl mit einer gegen die Axe senkrechten Kalkspathplatte und einem Turmalin, so erblickt man das schwarze Kreuz und die Ringe verrückt, zwar wenig, aber doch erkennbar, wenn man sorgfältig zusieht. Dieser Versuch, welcher eine sehr schwache Ellipticität beweist, gelingt nur gut, wenn die einfallende Schwingung parallel der Einfallsebene ist. Ist sie winkel-

recht mit ihr, so zeigt sich keine wahrnehmbare Wirkung, und wahrscheinlich ist die Wirkung der zweiten Componente verdeckt durch die viel gröſsere Intensität der ersten. Man muſs übrigens bemerken, daſs alle diese Erscheinungen erst zwischen 75° und 80° Incidenz etwas merkbar werden.

34) Stellt man die verschiedenen Umstände, welche die Reflexion des Lichts an krystallisirten, entweder durchsichtigen oder metallisch undurchsichtigen Körpern begleiten, in Parallele, so findet man, daſs die charakteristischen Eigenthümlichkeiten dieser beiden Gattungen von Phänomenen sich paarweise gruppiren, und daſs jede hervortretende Eigenschaft der Reflexion an durchsichtigen Krystallen eine entsprechende Eigenschaft an den undurchsichtigen besitzt. Es ist also klar, daſs die einen und die anderen in einem Zusammenhang gleicher Art mit dem Doppelbrechvermögen der reflectirenden Materie stehen, und die in dieser Abhandlung auseinander gesetzten Erscheinungen werden sonach ein wahrhafter Beweis für diese Doppelbrechung in den wesentlich opaken Körpern.

Diese Analogien würden noch weit inniger seyn, wenn man, statt eines Körpers von mittlerer Brechbarkeit, wie der Kalkspath, sehr stark brechende durchsichtige Krystalle zur Beobachtung anwenden könnte. Unglücklicherweise sind die Krystalle der Art, die ich mir verschaffen konnte, unvollkommen und nicht zahlreich. Ich werde mich also mit einigen kurzen Angaben begnügen müssen.

Das *Quecksilberchlorür* (gerades Prisma mit quadratischer Basis) erhält man durch Sublimation in durchsichtigen Krystallen. Ist die Axe parallel oder winkelrecht zur Einfallsebene, so sind die Winkel des Polarisationsmaximums respective 69° 12′ und 62° 17′. Besonders im ersten Fall ist die Reflexion von schwachen Depolarisationsanzeigen begleitet. Ich fand das diesen Einfallswinkeln entsprechende Verhältniſs von $\frac{h}{k}$ gleich 0,057

Digitized by Google

und 0,015, aber man begreift, daſs diese Zahlen hier nur als bloſse Anzeigen gegeben sind.

Dasselbe Verhältniſs fand ich bei Incidenzen zwischen 33 und 34° gleich der Einheit. Bei senkrechter Incidenz ist es gleich 1,38.

Sieht man ab von den depolarisirenden Eigenschaften der Materie, so genügen diese Versuche zur Berechnung des ordentlichen und des auſserordentlichen Brechindexes mittelst der auf durchsichtige Krystalle anwendbaren Formeln, welche die Winkel der vollständigen Polarisation geben.

Man findet sonach

$$m = 1{,}904. \qquad m' = 2{,}508.$$

Ich habe die Brechindexe des Quecksilberchlorürs direct gemessen und für das Orangeroth gefunden $m = 1{,}969$ und $m' = 2{,}606$. Allein die ungeheure Dispersion dieser Substanz macht die Beobachtungen sehr unsicher, und einige Streifen, die sich beim Poliren dieser Substanz schwerlich vermeiden lassen, verlängern die Spectra noch durch Diffraction.

Wie dem auch sey: nimmt man die ersten Zahlen an, so findet man das Verhältniſs $\frac{h}{k}$ bei der Incidenz 33° 30′ gleich eins, und bei der senkrechten Incidenz gleich 1,381. Diese Resultate nähern sich sehr denen der directen Beobachtung; allein man darf ihnen deshalb keine groſse Wichtigkeit beilegen, weil die reflectirenden Flächen zu windschief waren, als daſs man eine groſse Genauigkeit erreichen konnte.

Beim *Zinnoxyd* (einem geraden Prisma mit quadratischer Basis) habe ich mit zur Axe paralleler und darauf winkelrechter Einfallsebene die Winkel der Polarisationsmaxima gleich 64° 19′ und 63° 4′ gefunden. Die Depolarisations-Erscheinungen sind kaum merklich. Der angewandte Krystall sah schwarz und opak aus. Dünne Bruchstücke zeigten sich rothbraun und vollkommen durchsichtig; ihre Flächen waren sehr unvollkommen.

Endlich habe ich mit *Eisenglanz* operirt. Obgleich diese Substanz fast die Farbe und den Glanz des Stahls hat, stelle ich sie doch unter die durchsichtigen Körper, weil sie das rothe Licht in dünnen Schüppchen durchläſst, freilich in sehr dünnen, deren Dicke aber doch unvergleichlich gröſser ist, als die, welche die Metalle für das Licht durchgänglich macht. Jedenfalls kann man den Eisenglanz als Uebergang von den durchsichtigen Krystallen zu den metallisch undurchsichtigen betrachten.

Mehre Fehlerquellen werfen einige Unsicherheit auf die folgenden Beobachtungen. Die Flächen, mit denen ich operirte, waren klein und nicht recht regelmäſsig. Die farbigen Bilder zeigten sich demnach bedeutend entstellt, und die Incidenzen waren schwierig genau zu bestimmen. Da verschiedene Exemplare des Eisenglanzes oft bedeutend an Farbe verschieden sind, so kann man sich leicht überzeugen, daſs, in den äuſsersten Fällen, dieser besondere Zustand ihrer Oberfläche einen offenbaren Einfluſs auf die Messungen hat.

Reflectirende Fläche	Neigung der reflectirend. Fläche zur Axe.	Winkel des Polarisationsmaximums.		
		In Luft.	In Wasser.	In Oel.
des primitiv. Rhomboëders	32° 30′	68° 14′	63° 20′	61° 27′
- Isosceloëders [1, $\bar{1}$, 3]	28 53	68 10	63 19	61 22
der Basis	90 0	72 17	67 56	65 48

Bei allen diesen in Luft, Wasser oder Oel getauchten Flächen bewirkt die Reflexion eine sehr merkliche Depolarisation, die aber wenig genau meſsbar ist, aus oben angegebenen Gründen, und weil sie durch die Wirkung einer ziemlich starken Dispersion complicirt wird.

Das Maximum der Depolarisation scheint der auf der Axe senkrechten Fläche anzugehören, und ich werde hier als einfache Beispiele (*indications*) die bei den Winkeln der Polarisationsmaxima an dieser Fläche bestimmten Werthe von $\frac{h}{k}$ geben:

In

	In Luft.	In Wasser.	In Oel.
$\frac{h}{k}$	0,1361	0,0834	0,0629.

Sieht man ab von den depolarisirenden Eigenschaften der Materie und betrachtet die Formeln, welche den Winkel der vollständigen Polarisation für durchsichtige Krystalle geben, hier als anwendbar, so erlauben die vorstehenden Beobachtungen den ordentlichen und auſserordentlichen Brechungsindex zu berechnen. Man findet hierdurch:

	Durch Reflexion.		
	In Luft.	In Wasser.	In Oel.
m	3,02	3,19	3,16
m'	2,40	2,81	2,83

Die letzteren Resultate sind ziemlich übereinstimmend, die ersteren weichen bedeutend davon ab; ich lasse es unentschieden, ob dieſs von den Eigenschaften der Substanz oder von Beobachtungsfehlern herrühre.

Folgerungen.

Ich glaube nun die Resultate dieser Arbeit kurz zusammenfassen zu müssen, dabei wiederholend, daſs ich mich mehr an Oculardemonstrationen, an sichtbaren Beweisen, als an Messungen und numerischen Bestimmungen gehalten habe.

I. Ich habe neue Wege zum Studium der geradlinigen und elliptischen Polarisation angegeben und sie angewandt:

1) auf die Eigenschaften des von nicht krystallisirten, sowohl durchsichtigen und verschiedentlich brechenden, als auch mit metallischer Undurchsichtigkeit begabten Körpern reflectirten Lichts;
2) auf die Eigenschaften des von krystallisirten, durchsichtigen Körpern von verschiedener Brechkraft reflectirten Lichts;

3) auf die Eigenschaften des von krystallisirten, mit metallischer Undurchsichtigkeit begabten Körpern reflectirten Lichts.

II. Ich habe gewisse besondere bisher vernachlässigte Fälle der Reflexion an Krystallen betrachtet und die vollkommene Uebereinstimmung der Formeln des Hrn. Neumann mit der Erfahrung nachgewiesen.

III. Endlich habe ich bewiesen, daſs alle Erscheinungen bei Reflexion an der Oberfläche von Körpern mit metallischer Undurchsichtigkeit genau analog sind (*sont exactement calqués*) den Erscheinungen der Reflexion an der Oberfläche krystallisirter, durchsichtiger Körper, und daſs diese Erscheinungen einen offenbaren Beweis von der Doppelbrechung in wesentlich undurchsichtigen Krystallen sind.

II. *Ueber das Phänomen des weiſsen Regenbogens; von Hrn. A. Bravais.*

(*Ann. de chim. et de phys., Ser. III., T. XXI., p.* 348. — Eine Notiz dieser Abhandl. findet sich schon in diesen Ann. Bd. 68, S. 35.)

Der weiſse Regenbogen ist ein weiſslicher Kreisbogen, der sich zuweilen, der Sonne gegenüber, in dickem Nebel zeigt, und dessen Radius von 33° bis 42° schwankt. Wenn die Dimensionen dieses Bogens diese letztere Gränze erreichen, ist man berechtigt, ihn für einen gewöhnlichen, nur schwachen Regenbogen zu halten; denn man weiſs, daſs dieser letztere Bogen ein kleiner Kreis von 42° Radius ist, und man kann, bis zu einem gewissen Punkt, die Abwesenheit der Farben der Schwäche des Lichtes zuschreiben. Allein wenn die Gröſse unseres

weiſsen Bogens mehre Grade unterhalb der Gränze bleibt, welche die Theorie von Descartes angiebt, so wird jene Erklärung offenbar unzulänglich und wir müssen die Ursache dieser sonderbaren Entartung aufsuchen.

Die älteste Erwähnung dieses Phänomens, meines Wissens, findet sich in den *Ephemerid Medico-Physicarum Germanicar. Acad. Naturae Curiosorum*, für d. J. 1684. Mentzelius berichtet daselbst, daſs er es zu dreien Malen 1676, Sept. 12, 1680, Sept. 22, und 1684, Sept. 27, immer kurz nach Sonnenaufgang und auf feuchten, den Boden bedeckenden Nebeln gesehen habe, *in vapores roscidos, nebulasque densas et crassas in nubes pluviales nondum concretas, desuper in terram detrusas.* Zahn sah es im Sept. 1687 sich bilden, bei Sonnenaufgang, auf feuchten Nebeln. Dechales erblickte es, zu Arles, auf wenig dichten Dünsten; es war nach auſsen von einem röthlichen Saum eingefaſst. Mariotte sah es drei Mal auf Nebeln entstehen; bei der einen, wie die vorhergehenden, im September gemachten Beobachtung war der Nebel etwa 80 Meter entfernt; die äuſsere Seite des Bogens war dunkler als das Innere, und seine scheinbare Breite etwa 1° 30′.

Bouguer beobachtete den weiſsen Regenbogen auf dem Gipfel des Pichincha und fand seinen Winkeldurchmesser gleich 67°. Zugleich sah Bouguer den Schatten seines Kopfs umgeben von irisirenden Ringen, an Farben analog den Mondhöfen. Diese unter dem Namen *Heiligenschein* (*Gloires, ombres frangés*) bekannten Ringe begleiten häufig den weiſsen Regenbogen; aber das Umgekehrte ist keineswegs wahr; der weiſse Regenbogen ist viel seltener als der *Heiligenschein*.

Scoresby scheint auf seinen langen Reisen im Norden das in Rede stehende Phänomen nur drei Mal beobachtet zu haben. Am 1. Juni 1817 sah er auf einer sehr niedrigen Wolke einen dem Regenbogen analogen Bogen, welcher Farben zeigte, aber viel blässere und ver-

Digitized by Google

waschenere. Nach den Elementen der Beobachtung finde ich 41° 45′ für den Radius dieses Bogens; es war also ein gewöhnlicher Regenbogen. Ein andermal, im Jahre 1820, erblickte er einen ähnlichen Bogen, welcher eine auf dem Nebel gebildete Glorie umgab. Der Bogen zeigte die Farben des Spectrums, aber sehr schwach; ein zweiter Bogen, gleichfalls sehr schwach, aber von beträchtlicherem Durchmesser, umgab ihn; es war vermuthlich der zweite Regenbogen. Endlich am 23. Juli 1821 sah derselbe Seefahrer wiederum unsern Bogen, vollkommen grau, aber eine sehr lebhafte Glorie umgebend. Der Radius des mittleren Theils dieses Bogens betrug 38° 50′ und er war mehr als 4° breit.

Hr. Stokes beobachtete eine ähnliche Erscheinung im Juli 1825 auf den Bergen in der Nähe von Dublin; sie zeigte sich auf einem dichten Nebel, von welchem der Beobachter umgeben war. Hr. Stokes giebt diesem Bogen einen Radius von 40° und eine Breite von 5°. Auf die Sonnenscheibe projicirt gesehen, bildet der Nebel um dieſs Gestirn eine helle Aureole. Hinter dem Bogen nahm man Gegenstände auf der Erde in 20 Meter Entfernung wahr. Gegen Ende des Schauspiels nahm der Bogen auf Seite der Sonne eine bläuliche Tinte an.

Hr. Forbes, welcher ihn auf dem Jura gesehen, giebt Messungen, aus welchen ein Winkel von 38° 45′ für den Radius dieses Bogens hervorgeht.

Hr. Elie de Beaumont hat ihn zwei Mal gesehen, am 4. Oct. 1837 in Böhmen und am 1. Aug. 1838 bei *Vézelise* (Meurthe). Diese beiden Beobachtungen geben 37° 30′ und 36° 55′ für den Radius des Bogens.

Am 24. Juli 1838 sah ich den weiſsen Bogen in der Bucht Bell-Sound (Spitzbergen), sein Radius hielt 35°. Die Nebelschicht, auf welcher der Bogen erschien, hatte nur eine Dicke von 8 bis 10 Meter. Von der Höhe des Mastes, aber nur von dort herab, sah man ihn auf allen Seiten eine lebhafte Glorie umgeben, wahrscheinlich weil

Digitized by Google

die, für den also gestellten Beobachter dickere, Nebelschicht der Glorie eine hinlängliche Lichtstärke gab. Dieselbe Bemerkung hatte Scoresby in der schon erwähnten Beobachtung vom 23. Juli 1821 gemacht.

Seitdem sah ich den weiſsen Bogen bei zwei verschiedenen Gelegenheiten: am 8. Sept. 1839 auf meiner Reise durch *Lappland*, ohne daſs es mir damals möglich war, ihn zu messen, und am 5. Aug. 1841 auf dem Gipfel des *Faulhorns*; dieſsmal gab mir das Mittel aus fünf mit dem Theodolith gemachten Messungen 39° 5'. Eine schwach röthliche Farbe schien den weiſsen Bogen auswärts zu umsäumen; diese Erscheinung war schwach, aber anhaltend. In beiden Fällen hatte die erzeugende Wolke eine geringe Entfernung von meinem Auge, nur 20 bis 30 Meter.

Hr. Kämtz, dessen Name so oft unter den Beobachtern meteorologischer Phänomene vorkommt, hat den weiſsen Regenbogen zwei Mal auf dem Gipfel des *Faulhorns* gesehen. Am 22. Aug. 1833 erhielt er 37° 27' für dessen Radius; am 9. Sept. fand er etwa 41°. Dieſsmal war der innere Rand des Bogens von blauer, und der äuſsere von röthlicher Farbe. Dieser Umstand, so wie die scheinbare Gröſse des Durchmessers, setzen diesen Bogen in die Kategorie der gewöhnlichen Regenbogen.

Endlich sah ich in dem Bericht von der Reise der Fregatte *La Vénus*, daſs Hr. Tessan ihn drei Mal wahrgenommen hat, gebildet in nicht sehr hohen Nebeln auf dem Meer; allein die Winkeldimensionen des Bogens sind nicht angegeben.

Schlieſsen wir aus vorstehender Aufzählung, daſs der weiſse Bogen ein seltenes Phänomen ist, welches sich nur auf niedrigen Nebeln zeigt, kurz nach Sonnenaufgang, hauptsächlich in den Monaten September und October, und daſs seine Existenz, als ein vom gewöhnlichen Regenbogen verschiedenes Phänomen, als wohl erwiesen betrachtet werden muſs.

Digitized by Google

Kaum daſs man dieses sonderbare Meteor zu erklären versucht hat. Im Artikel *Regenbogen* des neuen *Gehler'schen Wörterbuchs* fragt Brandes, ob es nicht ein in Eiskügelchen gebildeter Regenbogen sey; allein er folgert sogleich aus dem von Brewster gegebenen Werth für den Brechindex des Eises, daſs diese Ansicht nicht haltbar sey. Ich hatte neuerlich Gelegenheit, diesen Index zu messen, dessen Bestimmung mir einige Unsicherheit darzubieten schien, und ich fand für die gelben Strahlen des Spectrums [1]):

$$l = 1{,}3095.$$

Daraus ergiebt sich leicht [2]), für die gelbe Zone eines in Eiskügelchen gebildeten Regenbogens, ein Radius von:

$$45^\circ\ 37',$$

also kann diese Ansicht nicht richtig seyn.

Hr. Kämtz betrachtet diesen Bogen als einen gewöhnlichen Regenbogen, gebildet in Tröpfchen; er schreibt die in der Gröſse des Radius beobachteten Unterschiede Beobachtungsfehlern zu. Er stützt seine Meinung auf die Beobachtung von Bouguer, auf die von Scoresby und auf seine eigenen. Allein man sieht aus der früheren Aufzählung, daſs, wenn man eine beträchtlichere Zahl von Beobachtungen vereinigt, beständig Unterschiede in demselben Sinne angetroffen werden. Dieſs geht aus folgender Aufstellung einleuchtend hervor:

Radius des weiſsen Bogens	= 33°	30'	. . . Bouguer,
- - - -	= 35	0	. . . Bravais,
- - - -	= 36	55	. . . Elie de Beaumont,
- - - -	= 37	27	. . . Kämtz,
- - - -	= 37	30	. . . Elie de Beaumont,
- - - -	= 38	45	. . . Forbes,

1) Siehe den folgenden Aufsatz *über den Refractions- und Dispersionsindex des Eises*, S. 576.

2) Mittelst der Formel:

$$l^2 \sin \tfrac{1}{2} R = \left(\frac{4 - l^2}{3}\right)^{\frac{3}{2}},$$

welche man Hrn. Babinet verdankt.

Digitized by Google

Radius des weiſsen Bogens	= 38° 50′	....	Scoresby,
- - - -	= 39 5	....	Bravais,
- - - -	= 40 0?	...	Stokes,
- - - -	= 41 0	....	Kämtz,
- - - -	= 41 45	....	Scoresby,
- - Regenbogens	= 41 38	....	(gelbes Licht).

Hr. Kämtz scheint die Abwesenheit der Farben von der Schwäche der Helligkeit des Bogens abzuleiten. Gewiſs ist freilich, daſs die Schwäche des Lichts die Farben auszulöschen strebt; aber unglücklicherweise erklärt die Theorie nicht, wie die Lichtstärke bis zu diesem Punkt von den Dimensionen der Wassertröpfchen abhängen könne. Zwar muſs, bei numerischer Gleichheit der Tröpfchen in einem bestimmten Raum und bei gegebenem Abstand des Beobachters von der Wolke, der Glanz wachsen wie das Quadrat des Durchmessers der Kügelchen; allein man muſs auch die Gesammtzahl der Kügelchen in Rechnung ziehen, und diese Zahl ist im Allgemeinen desto gröſser, je kleiner der Durchmesser ist. Ebenso hat die Dicke der Nebelschicht Einfluſs. Ist diese Dicke hinlänglich, so wiegt diese Bedingung den Effect der kleineren Durchmesser der Tröpfchen auf. Mithin sind die Schwäche und die beständige Weiſse des Lichts dieses Nebelbogens nicht vollständig erklärt.

Im 6ten Bande der *Cambridge Transactions* findet sich eine Abhandlung von Hrn. Potter über den Regenbogen. Dieser Physiker glaubt, daſs, wenn der Durchmesser der Tropfen klein ist, die Curve der Lichtintensitäten in den Streifen des gewöhnlichen Regenbogens und seiner inneren Zonen nicht so rasch mit dem Radius der Zone abnehme, wie man gewöhnlich glaubt, daſs sonach das Roth des Bogens sich weit in die innere Fläche des Regenbogens erstrecken könnte, und es sich ebenso mit den übrigen Farben verhielte, welche, indem sie sich mit den wenig verschiedenen Intensitäten überdeckten, weiſses Licht wieder herzustellen suchten. Allein man muſs bemerken, daſs diese Ansicht den schwachen Glanz

Digitized by Google

des weiſsen Regenbogens nicht erklärt, und überdieſs sieht man nach ihr nicht ein, weshalb die Farben des weniger brechbaren Theiles vom Spectrum, nämlich das Roth, Orange und Gelb, so vollständig verschwinden.

Ich will nun die Erklärung entwickeln, welche ich neuerlich von diesem Meteor im Hefte XXX des *Journal de l'école polytechnique* gegeben habe.

Mit allen Meteorologen nehme ich an, daſs flüssiges Wasser in zwei verschiedenen Zuständen in der Atmosphäre existiren kann: 1) unter der Form von hohlen Bläschen mit sehr dünnen Wänden, und 2) als volle Kügelchen. Es ist nämlich nicht zweifelhaft, daſs die nicht hohen Wolken, die Cumuli, welche in atmosphärischen Schichten schweben, deren Temperatur über Null ist, Wasser im Bläschenzustand enthalten. Denn diese Wolken geben niemals zu einem Regenbogen Anlaſs, und überdieſs, wenn sie vor der Sonnenscheibe vorübergehen, schwächen sie allmälig deren Licht und löschen es endlich ganz aus, ohne die Schärfe ihres Umrisses zu verletzen; dieſs könnte nicht mit vollen Tröpfchen geschehen, weil sie die Sonnenstrahlen zerstreuen würden. Ebenso ist gewiſs, daſs das Wasser, welches als Regen fällt, die Form von vollen oder wenigstens in der Mitte nur wenig hohlen Tröpfchen besitzt.

Es ist demnach sehr natürlich, einen gewissen intermediären Zustand anzunehmen, in welchem der Radius des Bläschens von gleicher Ordnung wie die Dicke der flüssigen Schicht sey.

Betrachten wir demnach einen Tropfen, bei welchem der Radius des centralen Luftbläschens $=r$, und der Radius des äuſseren Kügelchens $=R$ sey, so daſs $R-r$ die Dicke der flüssigen Schicht vorstellt, und nehmen wir an, diese Tropfen wachsen allmälig, indem sich atmosphärischer Dampf auf ihre äuſsere Oberfläche niederschlage. Ist der Radius R hinlänglich groſs geworden gegen r, der als unverändert betrachtet seyn mag, so

Digitized by Google

wird der flüssige Tropfen geeignet, den wirksamen Strahlen, welche den gewöhnlichen Regenbogen erzeugen, Durchgang zu verstatten; allein ehe er diese Gränze erreicht, muſs er durch einen intermediären Zustand gehen, in welchem er den weiſsen Regenbogen veranlaſst.

Gesetzt im Innern des Tropfens bewege sich ein Lichtstrahl, der von einem Punkt der äuſseren Oberfläche ausgehe und in diesem Punkt einen Winkel ϱ mit der Normale der Oberfläche bilde. Damit dieser Strahl von einem ursprünglich auſserhalb des Tropfens befindlichen Lichtstrahl herrühren könne, muſs man haben $\varrho > 0°$ und $\varrho < arc.\, sin\, \frac{1}{l}$, und wenn man $l = 1{,}336$ macht, wird diese letztere Bedingung: $\varrho < 48°\ 28'$.

Damit andrerseits dieser Strahl nicht das innere Bläschen treffe, welches seine Bahn ändern würde, damit er das Tröpfchen durchdringe, *wie wenn dieses voll wäre*, muſs man haben, $\varrho > arc.\, sin\, \frac{r}{R}$, $\varrho < 90°$, oder $\frac{R}{r} = \mu$ gesetzt, $\varrho > arc.\, sin\, \frac{1}{\mu}$, $\varrho < 90°$. Der Gesammtheit dieser Bedingungen kann nur genügt werden, wenn man hat $arc.\, sin\, \frac{1}{\mu} > arc.\, sin\, \frac{1}{l}$. Sobald aber die allmälige Vergröſserung von R zu schreiben erlaubt $\mu = l$ oder $\mu > l$, kann der Strahl den Tropfen durchdringen, und nach zwei Refractionen und einer Reflexion zu demselben hinaustreten, wie wenn der Tropfen voll Wasser wäre.

Nennen wir μ_0 den Werth $\mu = l = 1{,}336$, und sey δ_0 das Supplement der Ablenkung des entsprechenden ausfahrenden Strahls, so wird dieser Strahl, bei seinem Austritt, einen kleinen Kreis der Himmelskugel beleuchten, der den diametral der Sonne gegenüberstehenden Punkt zum Pol hat und vom Radius δ_0 ist. Die Rechnung ergiebt für δ_0 den Werth 13° 52′.

Sey nun $\mu > l$. Alle Strahlen, für welche der Re-

Digitized by Google

fractionswinkel den Bedingungen $\varrho > arc.\,sin\ \frac{1}{\mu}$ und $\varrho < arc.\,sin\ \frac{1}{l}$ genügt, werden den Tropfen durchdringen können; und ist ϱ das Supplement der Ablenkung, die $\varrho = arc.\,sin\ \frac{1}{\mu}$ entspricht [1]), so werden alle diese durchgänglichen Strahlen eine Zone beleuchten, die den diametral der Sonne gegenüberliegenden Punkt zum Pol, den Winkel δ_0 zum inneren, und den Winkel δ zum äuſseren Durchmesser hat.

In dem Maaſse als μ fortwährend wächst, senkt sich die untere Gränze der durchgänglichen Strahlen; und endlich stellt sich die den gewöhnlichen Regenbogen erzeugende Bedingung des Ablenkungsminimums ein, sobald man hat:

$$\frac{1}{\mu} = \sqrt{\frac{4 - l^2}{3\,l^2}}, \quad \text{d. h. } \mu = 1{,}555.$$

Nennen wir $\mu_{\prime}$ diese zweite Gränze, sie entspricht dem Werthe $\delta_{\prime} = 41^{\circ}\ 38'$, dem Radius des gewöhnlichen Regenbogens.

Dieſs gesetzt, betrachten wir eine Wolke bestehend aus hohlen Tröpfchen, die einander ähnlich und so beschaffen sind, daſs habe $\mu > \mu_0$ und $\mu < \mu_{\prime}$. Die Beleuchtung, welche eine solche Wolke an der der Sonne gegenüberstehenden Himmelsgegend bewirkt, wird ausgebreitet seyn auf eine Zone vom inneren Durchmesser $\delta_0 = 13^{\circ}\ 52'$ und vom äuſseren Durchmesser gleich δ. Die Helligkeit wird in den successiven Ringen dieser Zone wachsen nach einem Gesetz, das man ausdrücken kann durch eine Curve, welche sich sehr der Gestalt einer Hyperbel nähert, von deren Asymptoten die eine der Abscissenaxe und die andere der Ordinatenaxe parallel

1) Man berechnet δ nach der bekannten Formel:

$$\delta = 4\ arc.\,sin\ \frac{1}{\mu} - 2\ arc.\,sin\ \frac{l}{\mu}.$$

Digitized by Google

ist. Das Maximum der Helligkeit gehört dem äuſseren Theil der Zone an.

Bei Berechnung des Glanzes der verschiedenen Theile dieser Zone muſs man das von den vier Oberflächen des Tropfens reflectirte Licht beachten, da sich dieses mit dem durch zweifache Brechung und einfache Reflexion durchgelassenen Licht überdeckt. Ich habe gefunden, daſs die Gesammtheit dieses reflectirten Lichts der Atmosphäre eine Helligkeit giebt, deren Verhältniſs zur Helligkeit der Sonnenscheibe, bei Einheit der scheinbaren Fläche, durch die Formel:

$$\tfrac{1}{2} K \sin^2 \tfrac{1}{2} \Delta \,.\, 0{,}0257,$$

vorgestellt werden kann, wo Δ der scheinbare Sonnendurchmesser und K ein von Wolke zu Wolke veränderlicher Coëfficient, welcher von der Dicke der Wolke abhängt, so wie von dem Verhältniſs zwischen dem Durchmesser der Kügelchen und der mittleren Gröſse der sie trennenden Zwischenräume. Dieser Factor ist gleich eins, wenn die Anzahl der zum Phänomene beitragenden Tropfen, aufgefangen in einem Sector, der seinen Scheitel im Auge hat und, auf der Kugel vom Radius eins, eine der Einheit gleiche scheinbare Fläche umfaſst, gleich ist dem Quotienten der Einheit durch die scheinbare Oberfläche eines Tropfens. Für eine auf dem *Maximum der Condensation* befindliche Wolke kann dieser Factor sechs bis sieben Mal gröſser als die Einheit werden. Bei einer lockeren und nicht dicken Wolke kann dagegen dieser Factor viel kleiner als die Einheit werden.

Die Beleuchtung, herrührend von der auf dem anderen Wege durchgelassenen Lichtportion, wird seyn:

$$\tfrac{1}{2} K \sin^2 \tfrac{1}{2} \Delta \,.\, \varepsilon,$$

wo ε eine Function der Ablenkung δ ist und mit ihr wächst.

Folgende Tafel giebt die den gelben Strahlen des Spectrums entsprechenden Werthe der Gröſsen μ, δ, ε.

Digitized by Google

μ.	δ.	ε.	μ.	δ.	ε.
1,336	13° 52′	0,000	1,45	40° 9′	0,196
1,34	21 55	0,031	1,46	40 29	0,216
1,35	27 41	0,054	1,47	40 46	0,243
1,36	30 53	0,073	1,48	40 58	0,279
1,37	33 6	0,088	1,49	41 11	0,328
1,38	34 46	0,102	1,50	41 20	0,397
1,39	36 4	0,114	1,51	41 26	0,481
1,40	37 7	0,126	1,52	41 32	0,632
1,41	37 58	0,138	1,53	41 35	
1,42	38 40	0,151	1,54	41 37	
1,43	39 16	0,164	1,55	41 38	
1,44	39 45	0,179	1,555	41 38	

Wäre die Gröſse μ streng dieselbe für alle Tropfen einer Wolke, so würde der weiſse Regenbogen an seinem äuſseren Rande scharf begränzt seyn, fast wie der gewöhnliche Regenbogen. Allein dem ist nicht also. Das Verhältniſs μ wird im Allgemeinen einen mittleren Werth M haben, von welchem es sich, von einem Tropfen zum anderen, entweder in *plus* oder *minus* entfernt. Es ist leicht zu sehen, daſs wenn man den Radius D der $\mu = M$ entsprechenden Zone berechnet, der Nebelbogen nicht plötzlich mit dem Kreise vom Radius D enden wird, weil alle Tropfen, für welche μ gröſser als M ist, Licht an Zonen geben, deren Abstand vom Mittelpunkt des Bogens gröſser als D ist.

Sey allgemein $F(\mu)$ die Anzahl der Tropfen, für welche das Verhältniſs $\frac{R}{r}$ gröſser ist als ein gegebener Werth von μ, dabei die Gesammtzahl der Tropfen der Wolke zur Einheit genommen, und sey δ die diesem selben Werthe von μ entsprechende Ablenkung, so erhellt, daſs der Kreis vom Radius δ bloſs durch den Bruch $F(\mu)$ beleuchtet seyn wird, während der andere Bruch $1 - F(\mu)$ zur Beleuchtung dieses Kreises unwirksam ist. Setzt man als $\varepsilon = \varphi(\mu)$, so wird, abgesehen von dem constanten Gliede $\frac{1}{2} K \sin^2 \frac{1}{2} \Delta \,.\, 0{,}0257$, die entsprechende Beleuchtung gleich seyn:

$$\tfrac{1}{2} K \sin^2 \tfrac{1}{2} \Delta \, F(\mu)\, \varphi(\mu).$$

Digitized by Google

Von den beiden Functionen $F(\mu)$, $\varphi(\mu)$ nimmt die erste ab, und die zweite zu, in dem Maaſse als μ wächst. Der Ort des Maximums der Helligkeit hängt also von der Form der Function $F(\mu)$ ab, d. h. von der relativen Frequenz der verschiedenen Verhältnisse der beiden Strahlen eines jeden Tropfens. Dieser Umstand erklärt die Veränderlichkeit des Radius und der scheinbaren Breite des weiſsen Regenbogens.

Es bleibt mir zu zeigen, wie die vorstehende Theorie alle Umstände des Phänomens erkläre.

Zunächst wenn der herrschende Werth von μ gleich 1,37 oder 1,38 ist, liegt das Maximum der Helligkeit des Bogens bei 33 oder 34° vom Centrum, und man erhält das von Bouguer gesehene Phänomen, d. h. einen Bogen von kleinem Radius. Zwei Gründe hindern, daſs man in der Natur weiſse Regenbögen von kleinerem Durchmesser als 33° beobachtet: der erste ist die Schwäche des Lichts bei so kleinen Werthen von δ; der zweite liegt in der sehr beträchtlichen Aenderung, welche dann der Winkel δ bei sehr kleinen Aenderungen von μ erfährt, wie die Tafel S. 572 zeigt. Eine Aenderung von einem einzigen Hundertel in μ verschiebt das Maximum der Helligkeit um mehre Grade. Der dann sehr breite und sehr verwaschene weiſse Bogen muſs der Aufmerksamkeit des Beobachters entgehen.

Dagegen strebt die Erscheinung sich allmälig abzuändern und in die Form des gewöhnlichen Regenbogens überzugehen, so wie μ zunimmt. Sobald μ z. B. gleich 1,44 wird, beginnt die Irisirung des äuſseren Randes, und es zeigt sich an diesem Rande ein rother Saum (beobachtet von Dechales, und von mir auf dem Faulhorn). Wenn der herrschende Werth von μ sich 1,50 nähert, ist diese Irisirung noch hervorstechender; man erhält die von Hrn. Kämtz am 9. Sept. 1833 und von Hrn. Scoresby am 1. Jan. 1817 gesehenen Erscheinungen. In dieselbe Kategorie muſs man den am 27. Febr. 1837 bei einer Son-

nenhöhe von 60° von Hrn. Tessan gesehenen Nebelbogen (*arc-eu-ciel de brume*) stellen. Die Farben waren nicht deutlich und das Ganze zeigte eine schmutziggelbe Farbe; der Radius des Bogens betrug 42°. Wahrscheinlich waren bei einer geringen Zahl von Tropfen in diesem Nebel die Werthe von μ gleich oder gröſser als 1,55, und die übrigen Tropfen hatten kleinere Werthe von μ. Die Undeutlichkeit der Farben findet sich durch diese Hypothese erklärt. Ich habe übrigens in meiner Abhandlung gezeigt [1]), weshalb es die rothen und gelben Farben sind, die zuerst erscheinen, sobald sich μ der zweiten Gränze 1,555 nähert. Wenn endlich alle Tropfen der Bedingung $\mu > 1,555$ genügen, wird der weiſse Bogen durch den gewöhnlichen Regenbogen ersetzt.

Die Umstände, welche zu den, den weiſsen Bogen erzeugenden Nebeln Anlaſs geben, scheinen mir im Allgemeinen die folgenden zu seyn. Denken wir uns einen Nebel, der sich bei Nacht über einen feuchten Boden bildet. Durch die Condensation, vermöge der Erkaltung bei Nacht und am Morgen, kurz nach Sonnenaufgang, werden die Bläschen, von anfangs sehr dünner Wandung, wachsen und somit die zur Hervorbringung unseres Meteors erforderliche Beschaffenheit erlangen können. Diese besteht nämlich, wie wir gesehen, in der Stunde, in welcher es am häufigsten gesehen wird. Später dagegen bewirkt die Sonne durch Erwärmung eine Verdampfung der Tropfen; die Wolke strebt sich aufzulösen oder wenigstens aus ihren anfänglichen Zuständen der Wirksamkeit herauszutreten. Fährt dagegen die Verdichtung fort, so nehmen die Bläschen an Gewicht zu und fallen endlich zu Boden.

Man hat bemerkt, daſs der weiſse Bogen sich fast immer auf einer von dem Beobachter wenig entfernten Wolke bildet. Dieſs scheint davon herzurühren, daſs die Umstände, welche seine Bildung bedingen, ihrer Natur

1) *Journ. de l'Ecole Polytechnique, T. XVIII, p.* 113.

nach wesentlich zufällig und vorübergehend sind, daſs sie sich dennoch nicht zugleich in der Gesammtheit einer sehr ausgedehnten Wolke verwirklichen, sondern nur in beschränkten Stücken derselben. Steht also der Beobachter in groſser Ferne, so wird ein weiſser Bogen, der schwach und von geringer Amplitude ist, unbemerkt bleiben; wogegen der Beobachter, wenn er näher ist, einen groſsen Theil des Bogens sehen und dessen regelmäſsige Krümmung erkennen wird.

Der weiſse Bogen wird oft von dem Meteor der buntgesäumten Schatten (*ombres frangées*) begleitet. Bekanntlich bilden sich diese Schatten auf Wolken, die aus Kügelchen von nahe gleichen (äuſseren) Durchmessern entstehen. Nimmt man an, diese Kügelchen seyen hohl, so wird die Gleichheit der innern Durchmesser die Folge von der der äuſseren seyn, und die Beständigkeit des Verhältnisses dieser Durchmesser wird die Bildung des weiſsen Bogens bedingen, vorausgesetzt jedoch, dieſs Verhältniſs falle zwischen die erforderlichen Gränzen 1,37 und 1,50.

Mithin muſs der weiſse Bogen seltener seyn als die buntgesäumten Schatten, und dieſs bestätigt die Erfahrung.

Endlich erhellt aus der vorstehenden Theorie, daſs der weiſse Bogen nicht die Fransen zeigen kann, welche unter dem Namen der *überzähligen Bogen* bekannt sind. Das Daseyn dieser Fransen schon zeigt, daſs für weit unter 41° 38′ liegende Werthe von δ das ausfahrende Licht noch unter sehr hinreichenden Bedingungen von Wirksamkeit befindlich ist. Der Grund des Ausbleibens der Fransen am inneren Rande des weiſsen Bogens ist leicht anzugeben. Die Interferenz kann nur eintreten, sobald zwei verschiedene Bündel von Lichtstrahlen sich durchdringen und wechselseitig schneiden. Hier aber wird eins der beiden Bündel, dasjenige von Strahlen, deren Incidenz geringer ist als die dem Ablenkungsminimum entsprechende, vollständig unterdrückt durch die störende

Digitized by Google

Wirkung der Oberfläche der inneren Kugel. Diese Angaben der Theorie werden bei Prüfung der beobachteten Thatsachen vollständig bestätigt.

Um der vorstehenden Erklärung ihren letzten Grad von Sicherheit zu geben, bleibt nur durch *Erfahrung* zu beweisen, daſs volle Tropfen, *wie klein auch ihr Durchmesser seyn möge*, nicht solche weiſse Bogen erzeugen können, wie uns hier beschäftigten. Es wäre auch zweckmäſsig, zu erklären, weshalb man nicht den weiſsen Bogen der Bildung eines gewöhnlichen Regenbogens vorangehen sieht im Moment, wo eine Wolke aus Bläschendampf sich in Regen auflöst. Ich schlieſse also damit, die Aufmerksamkeit der Personen, die sich für Naturerscheinungen interessiren, auf diesen letzten Punkt hinzulenken.

III. *Ueber den Refractions- und Dispersionsindex des Eises; von Hrn. A. Bravais.*

(*Ann. de chim. et de phys.*, *Ser. III*, *T. XXI*, *p.* 361.)

Um den Refractionsindex des Eises zu messen, fügte ich zwei rechteckige Glasplatten unter einem Winkel von etwa 70° zusammen, so daſs sie ein dreiseitiges hohles Prisma bildeten, dessen dritte Seite offen blieb. Dieſs System wurde auf der horizontalen Drehaxe eines Wollaston'schen Goniometers befestigt, und zwar mit allen nöthigen Vorsichtsmaaſsregeln, damit die Kante des Prismas dieser Axe parallel war.

Das Goniometer wurde dann einige Centimeter entfernt von dem Objectiv des Fernrohrs eines Gambey'schen Theodolithen aufgestellt. Wenn bei dieser Stellung eine Flüssigkeit, wie Wasser, in das Prisma gegossen war, konnte man mit dem hinreichend geneigten Fernrohr das Bild

Digitized by Google

Bild einer etwa 24 Meter entfernten horizontalen hellen Spalte, vermöge Refraction durch das Prisma, wahrnehmen. Bei Ersetzung der Flüssigkeit durch ein Eisprisma, konnte man ebenso das Spectrum des Eises studiren, das Ablenkungsminimum seiner verschiedenen Theile messen und daraus den Refractionsindex der verschiedenen Farben herleiten.

In der jetzt für das 31ste Heft des *Journ. de l'école polytechnique* gedruckten Abhandlung über die Halonen findet man die Vorsichtsmaaſsregeln angegeben, die zu nehmen sind, um diese Operation gut auszuführen. Die Art der Befestigung des Prismas an der Axe des Goniometers hat mir erlaubt, den Kantenwinkel desselben genau so zu messen, wie bei einem Krystall. Dieser Winkel betrug 73° 38′, und gab, durch das Eis hin, dem Spectrum einer Lampenflamme eine Amplitude von 1° 15′. Wegen des beständig bedeckten Himmels während meiner Versuche war es mir nicht möglich, Sonnenlicht anzuwenden.

Ich habe zwei Reihen von Beobachtungen gemacht. Gegen Ende der ersten Reihe bemerkte ich, daſs das Daseyn von Blasen und Streifen in dem Eise das äuſserste Roth, so wie die Gränze zwischen Roth und Orange, von der Mitte des Spectrums entfernte. Daraus entstanden Unterschiede in den verschiedenen Ablesungen, je nachdem das in der Bahn der Strahlen gelegene Eis zufällig mehr oder weniger homogen war. Bei der zweiten Reihe war ich viel achtsamer auf die Entfernung dieser Fehlerquelle, so daſs sie ein gröſseres Zutrauen verdient.

Die von mir erhaltenen Resultate waren folgende:

	Erste Reihe.	Zweite Reihe.
Aeuſserstes Roth	1,3027	1,3059
Gränze von Roth und Orange .	1,3069	1,3088
- - Orange und Gelb .	1,3083	1,3094
- - Gelb und Grün . .	1,3102	1,3097

	Erste Reihe.	Zweite Reihe.
Gränze von Grün und Blau . .	1,3123	1,3144
- - Blau und Violett .	1,3164	1,3160
Aeuſserstes Violett		1,3172

Daraus schlieſse ich:

Rothe Strahlen, Mitte	1,3070
Orange - -	1,3085
Gelbe - -	1,3095
Grüne - -	1,3115
Blaue - -	1,3150
Violette - -	1,3170

Ich glaube, man kann bis auf 0,001 für den Werth dieser Zahlen einstehen, und diese Genauigkeit ist hinreichend für die Theorie der optischen Erscheinungen, die durch die in der Atmosphäre schwebenden Eiskrystalle erzeugt werden können.

Da das Eis während meiner Versuche in Schmelzung kam, so muſste ich mich versichern, daſs sich nicht ein Wasserprisma zwischen dem Eisstück und den Glasplatten bildete. Aus der Abhandlung, auf welche ich verwiesen habe, kann man übrigens ersehen, daſs die Einschaltung eines Wasserprisma von 1° in der Kante keinen Fehler von 0,0004 in dem berechneten Index erzeugt haben würde.

Zur Prüfung meines Verfahrens maſs ich mit demselben Licht den Refractionsindex des reinen Wassers für verschiedene Farben, und erhielt:

für das Roth	1,3313	bis	1,3332
- - Orange	1,3332	-	1,3334
- - Gelb	1,3334	-	1,3345
- - Grün	1,3345	-	1,3379
- - Blau	1,3379	-	1,3395
- - Violett	1,3395	-	1,3425

Diese Zahlen stimmen beim Orange und beim Gelb mit denen von F r a u n h o f e r überein, geben indeſs dem reinen Wasser einen geringeren Dispersionscoëfficienten als der berühmte Münchener Physiker erhalten hat.

Digitized by Google

IV. *Ueber die Theorie der elastischen Flüssigkeiten und die latente Wärme der Dämpfe;* *von Hrn.* ***Pouillet.***

(*Compt. rend. T. XXIV, p.* 915.)

§. I.

1. Das Buch XII. der *Mécanique céleste* enthält eine allgemeine Theorie der elastischen Flüssigkeiten, die alleinig auf den Anziehungsgesetzen der Kugeln und einigen ursprünglich den Wärmeelementen beigelegten Eigenschaften beruht; es ist zugleich eine der letzten und der schönsten Arbeiten von Laplace. Er hatte die Genugthuung, seine Theorie in merkwürdiger Weise bestätigt zu sehen, einerseits durch die von ihm selbst zu dem Ende vorgeschlagenen Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls, und andererseits durch einige Versuche über die Wärmeentwicklung, die jedoch, wie sie es nicht anders seyn konnten, in Temperatur und Druck auf ziemlich enge Gränzen beschränkt waren.

Diese Theorie ist zu wichtig, sowohl durch die ihr zum Grunde liegenden Principien, wie durch die implicite von ihr umfaſsten allgemeinen Gesetze, als daſs nicht die Physiker versuchen sollten, sie vielfältigeren und entscheidenderen Proben zu unterwerfen. Es muſs die Erfahrung sich aussprechen, nicht über ihren mathematischen Werth, der unantastbar bleibt, sondern über ihren physikalischen Werth, welchen wir so lange für zweifelhaft halten dürfen, als noch nicht bewiesen worden, daſs sie ein getreuer Ausdruck der Thatsachen ist.

Wir wissen gegenwärtig, daſs das Mariotte'sche Gesetz, das Gesetz der gleichen Ausdehnung und das der Beständigkeit des Ausdehnungscoëfficienten weniger strenge richtig sind, als man es vordem glaubte. Allein die bis jetzt beobachteten Abweichungen treffen nicht das We-

sentliche in der Theorie der Flüssigkeiten; es kann nur ein Grund seyn, die Folgerungen näher zu studiren und mit gröſserem Vorbehalt anzunehmen.

Bei diesem Zustand der Dinge schien es mir Interesse zu haben, diese Theorie wieder aufzunehmen und die Gesammtheit der Resultate zu erörtern, zu welchen sie bei Anwendung auf die Dämpfe führt. Ueberdieſs hatte ich zu diesen Untersuchungen einen besonderen Grund. Seit lange in Gemeinschaft des Hrn. Péligot beschäftigt mit Versuchen über die gasigen Producte der Verpuffung verschiedener Pulverarten und die Wirkungen derselben, ward es für mich nothwendig zu ermitteln, welchen Gebrauch man von den theoretischen Formeln machen dürfe, wenn es sich um diese äuſsersten Gränzen der Temperatur und des Druckes handelt.

Laplace hat sich begnügt in wenig Worten anzudeuten, wie die Formel, welche die Wärmemenge eines Gases in Function der Temperatur, des Drucks und des Coëfficienten der Wärmecapacität ausdrückt, sich auch auf den Wasserdampf anwenden lasse. Poisson, nachdem er diesen Ausdruck durch eine andere Methode gefunden und ihm eine andere Form gegeben hatte, glaubte später den Coëfficienten der Wärmecapacität durch eine eigenthümliche Betrachtung bestimmen zu können. Mit einigen Physikern nahm er an, daſs ein Kilogramm Wasserdampf, bei jeder Temperatur und beim Maximum der Spannung, immer dieselbe Wärmemenge enthalte. Das Resultat, zu welchem er auf diesem Wege gelangte, konnte nicht genau seyn, auch erkannte er selbst, daſs die Hypothese nicht mit den beobachteten Thatsachen übereinstimme.

Ich habe nicht erfahren, daſs die Aufgabe weiter behandelt worden sey. Folgendes sind die Hauptresultate, zu denen ich gelangt bin.

1) Nimmt man einen der Factoren der allgemeinen Formel zur Bedingungsgleichung und setzt darin die durch

Digitized by Google

Versuche gegebenen Temperaturen und Spannungsmaxima, so ergiebt sich, daſs die daraus hergeleiteten Werthe des Capacitätscoëfficienten mit der Temperatur wachsen, und es ist leicht zu erweisen, daſs der wahre Werth dieses Coëfficienten entweder kleiner als der kleinste dieser Werthe, oder gröſser als der gröſste seyn muſs, und nicht zwischen diesen beiden Gränzen liegen kann. Diese Anzeige ist um so schätzbarer, als der Werth jenes Coëfficienten immer gröſser als eins, und wahrscheinlich immer kleiner als anderthalb ist.

2) Die gesammte Wärmemenge, welche ein Kilogramm Dampf bei irgend einer Temperatur und beim Maximum der Spannung enthält, kann offenbar betrachtet werden, als bestehend aus drei Theilen: 1) demjenigen, welchen ein Kilogramm der Flüssigkeit bei der Temperatur 0° enthält; 2) demjenigen, der erfordert wird, um sie, als Flüssigkeit, bis zu der betrachteten Temperatur zu erwärmen, und 3) endlich der latenten Wärme, die noch hinzuzufügen ist, um die Verdampfung bei dieser Temperatur zu bewirken. Daraus entspringt eine neue Gleichung zwischen den latenten Wärmen, den gesammten Wärmemengen und der specifischen Wärme der Flüssigkeit selbst. Der Vergleich dieser Gleichung mit der ersteren lehrt im Allgemeinen kennen, ob man den Werth des Capacitätscoëfficienten unterhalb der kleinsten Gränze oder oberhalb der gröſsten nehmen müsse.

Für den Wasserdampf z. B. müſste die latente Wärme bei 0° fast 200 Einheiten gröſser seyn, als sie bei 100° C. ist, wenn der Capacitätscoëfficient bei der oberen Gränze genommen wäre.

Diese Folgerung war zu wichtig, als daſs ich mich nicht bestrebt haben sollte, sie zu prüfen. Nun schien mir die latente Wärme bei 0° nur 560 Einheiten zu betragen, d. h. weit von dem entfernt zu seyn, was sie seyn müſste, wenn es erlaubt seyn sollte, für z die obere Gränze zu wählen. Man hat also die untere Gränze zu nehmen.

Digitized by Google

Bei dem in Rede stehenden Vergleich kommt auch die specifische Wärme des Dampfes bei constantem Druck in Betracht, und die Erörterung hat mich darauf geführt, es für sehr wahrscheinlich zu halten, daſs die von Delaroche und Bérard für diesen Punkt gegebene Zahl 0,847 beträchtlich vergröſsert werden müsse.

Der relative Werth der beiden latenten Wärmen, genommen bei ziemlich aus einander liegenden Temperaturen, und die Wärmecapacität der Flüssigkeit selbst, genügen übrigens im Allgemeinen, um zu bestimmen, welche der beiden Gränzen man wählen müsse, ohne daſs man nöthig hat, die specifische Wärme des Dampfes zu Hülfe zu nehmen; diese wird nur nothwendig, um den Werth des Capacitätscoëfficienten zu erlangen. Sonach glaube ich diesem Coëfficienten für den Wasserdampf nur den Werth 1,02 oder höchstens 1,03 beilegen zu können.

3) Wenn man durch die eben angezeigte Methode dahin gelangt ist, die Gränze, welche einem gegebenen Dampfe zukommt, mit Sicherheit zu wählen, so hat man sogleich, und zwar durch die Thatsache selbst, die Lösung einer der wichtigsten und häufigst besprochenen Aufgaben, nämlich die über die Wärmemengen.

Wenn die Variation der beiden latenten Wärmen der Flüssigkeit zu erkennen giebt, daſs ihr die untere Gränze zukommt, so besitzt das Kilogramm des Dampfes dieser Flüssigkeit beim Spannungsmaximum Wärmequantitäten, die mit der Temperatur wachsen; für Flüssigkeiten dagegen, denen die obere Gränze zukommt, besitzt das Kilogramm des Dampfes Wärmemengen, die abnehmen, so wie die Temperatur steigt.

4) Die Spannungsmaxima des Wasserdampfs sind bekannt von der Temperatur — 32° C., welche $0^{mm},31$ entspricht, bis zu der von 236°,2 C., welche 30 Atmosphären entspricht. In diesem Intervall kann man so viele Temperaturen und Spannungen nehmen wie man will, um

sie in der erwähnten Bedingungsgleichung zu substituiren, und somit, für eine sehr beträchtliche Strecke der Thermometerscale, den zu Anfange aufgestellten Satz auf die Probe stellen. Andererseits lernt man aus dem Vergleich der latenten Wärmen bei 0° und bei 100°, daſs der Capacitätscoëfficient unterhalb der unteren Gränze genommen werden muſs, und daraus folgt, daſs für den Wasserdampf die Wärmemengen wachsen in dem Maaſse als die Temperatur steigt, ungeachtet die latenten Wärmen langsam abzunehmen scheinen.

Die Dämpfe, welche, wie der Wasserdampf, desto gröſsere Wärmemengen enthalten, je höher die Temperatur ist, zeigen die merkwürdige Erscheinung: daſs, wenn man sich denkt, sie seyen eingeschlossen in für die Wärme undurchdringliche Gefäſse, so daſs sie sich durch Berührung mit deren Wänden weder erwärmen noch erkalten können, sie einer unbegränzten Ausdehnung fähig sind, ohne daſs das Mindeste tropfbar gefällt wird; dagegen können sie keine gröſsere Zusammendrückung erleiden, ohne daſs augenblicklich eine theilweise Liquefaction des Dampfes stattfindet.

5) Die Spannungsmaxima des Kohlensäuredampfs sind bekannt von der Temperatur —80° C., welche 1,2 Atmosphären entspricht, bis zu der von +10° C., welche 45 Atmosphären entspricht. Für dieses Intervall läſst sich auch nachweisen, daſs die aus der Bedingungsgleichung gezogenen Werthe einen wachsenden Gang befolgen. Da wir aber über die latenten Wärmen der Flüssigkeit nichts wissen, so können wir hier dieſs Kennzeichen nicht zu Hülfe nehmen, um zu entscheiden, welche der beiden Gränzen dem Capacitätscoëfficienten zukomme. Glücklicherweise geben uns die Versuche, welche Dulong über die Töne verschiedener Gase in einer selben Pfeife angestellt hat, diesen Coëfficienten direct. Sie geben für ihn den Werth 1,339, der weit die aus den beobachteten Drucken hervorgehende obere Gränze über-

Digitized by Google

steigt; es ist also diese Gränze, welche der Kohlensäure zukommt.

Daraus folgt, entgegen dem beim Wasserdampf Stattfindenden, daſs die Kohlensäure abnehmende Wärmemengen enthält, d. h. desto weniger groſse als die Temperatur steigt.

Der Gegensatz, der sich hier zwischen dem Wasserdampf und der Kohlensäure zeigt, bleibt nothwendig auch in den Compressions- und Expansionserscheinungen bestehen. Mithin kann die Kohlensäure in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäſse unendlich comprimirt werden, ohne daſs eine Liquefaction erfolgt, indem die entwickelte Wärme immer mehr als hinreichend ist, die Temperatur über diejenige zu erhöhen, welche zum Maximum der Spannkraft erfordert wird. Erlaubt man ihr dagegen, sich in einem gröſseren Raum zu verbreiten, so fehlt es ihr an Wärme, und es muſs durchaus ein Theil in den flüssigen oder starren Zustand übergehen, damit der Rest seine Elasticität behalte.

Diese Folgerung scheint einleuchtend durch die beim Thilorier'schen Apparat entstehenden Erscheinungen bestätigt zu werden, und die entgegengesetzte Deduction in Bezug auf den Wasserdampf scheint eben so ihre Bestätigung zu finden in den Erscheinungen beim Papin'schen Topf, wo die Liquelicirung des Wasserstrahls mehr der abkühlenden Wirkung der Luft als der Ausdehnung des Dampfes selbst zugeschrieben werden kann.

Da nun die beiden Glieder, welche in den Ausdruck für die latente Wärme der Kohlensäure eintreten, von gleichem Zeichen sind, so geschehen die Veränderungen weit rascher als beim Wasser. Bei — 40° C. z. B. ist die latente Wärme der Kohlensäure weit gröſser als bei 0°, und sie nimmt sonach sehr rasch ab, bis sie ohne Zweifel einen Punkt erreicht, bei dem sie der Nullität nahe kommt.

Man kennt das Spannungsmaximum des Stickstoffoxyduls von — 87° C., wo es *einer* Atmosphäre entspricht,

bis + 12° C., wo es 44 Atmosphären entspricht. Die Resultate der Rechnung sind für diesen Dampf ganz übereinstimmend mit denen, welche die Kohlensäure darbietet.

Das ölbildende Gas, für welches **Dulong** auch den Capacitätscoëfficienten gegeben, und Hr. **Faraday** die Spannungsmaxima von 0° bis — 73° C. beobachtet hat, zeigt so ungewöhnliche Anomalien, daſs mir sicher scheint, entweder daſs die theoretische Formel mangelhaft ist, oder daſs die Versuche keine hinlängliche Genauigkeit haben; ich sehe keine Mittel, die Resultate mit der Hypothese von einem constanten, von Druck und Temperatur unabhängigen Coëfficienten zu vereinbaren. Man könnte jedoch vermuthen, daſs das Gas von **Dulong** nicht identisch war mit dem von Hrn. **Faraday**, oder daſs bei der Liquefaction neue Verbindungen entstehen.

6) Sehe ich bis auf Weiteres vom Doppelt-Kohlenwasserstoff ab, so glaube ich aus diesen Versuchen schlieſsen zu können, daſs die Laplace'sche Theorie für Dämpfe in einer beträchtlichen Strecke der Thermometerscale gültig ist, daſs vermöge der Auslegung der sich aus ihr ergebenden Bedingungsgleichung die Dämpfe in zwei Klassen zerfallen: in solche mit wachsender Wärme, wie der Wasserdampf, und in solche mit abnehmender Wärme, wie das Stickstoffoxydul und die Kohlensäure; endlich daſs man durch Combination der Gleichung für die latenten Wärmen mit der für die Wärmemengen dahin gelangt, zwischen den Variationen der latenten Wärme, der specifischen Wärme der Flüssigkeit und der des Dampfs, neue Verhältnisse festzustellen, die ohne Zweifel verstatten, die Theorie leichteren und ausgedehnteren experimentellen Prüfungen zu unterwerfen.

§. II.

2. Die Wärmemenge, welche die Masseneinheit einer elastischen Flüssigkeit enthält, kann vorgestellt werden durch einen Ausdruck von der Form (*Mécan. cél. Livr. XIII*):

Digitized by Google

$$q = m + n(a + t)p^{-z} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

worin q die Wärmemenge, t die Temperatur, p der Druck, $a = 272$ oder eins, dividirt durch den Ausdehnungscoëfficienten der Gase, $z = \frac{k-1}{k}$ und k das Verhältniſs der Wärmecapacitäten der elastischen Flüssigkeit bei constantem Druck und bei constantem Volum; es wird als unabhängig von Druck und Temperatur angesehen, und wir werden es *Capacitätscoëfficienten* nennen. Endlich sind m und n zwei Constante, die entweder durch Hypothesen oder durch besondere Data bestimmt werden müssen.

Bis jetzt haben wir keine Kenntniſs von der absoluten Wärmemenge, die ein Körper besitzt. Alles, was wir vermögen, kommt auf Feststellung von Unterschieden zurück, d. h. auf Messungen der mehr oder weniger groſsen Wärmemengen, welche ein Körper verlieren oder gewinnen muſs, um von einer Temperatur zur andern, von einem Druck zum andern überzugehen, oder im Allgemeinen von einem Zustand zu einem andern, der sich vom ersten durch streng definirte physische, chemische oder mechanische Kennzeichen unterscheidet.

Bezeichnen wir demnach durch $q_{\prime}$ die gesammte und unbekannte Wärmemenge, welche die Masseneinheit einer elastischen Flüssigkeit bei der Temperatur $t_{\prime}$ und unter dem Druck $p_{\prime}$ besitzt; bezeichnen wir eben so die demselben Körper bei der Temperatur t und dem Druck p angehörige Wärmemenge durch q, so haben wir:

$$q - q_{\prime} = -n(a + t_{\prime})p_{\prime}^{-z} + n(a + t)p^{-z} \quad . \quad . \quad (2).$$

Alsdann kann die Constante n mittelst der specifischen Wärme des Gases bei constantem Druck bestimmt werden; denn wenn der Druck p constant bleibt, und bloſs die Temperatur sich ändert, so ist klar, daſs der Differentialcoëfficient $\frac{dq}{dt}$ die in Rede stehende specifische Wärme ausdrückt. Da sein allgemeiner Werth ist:

Digitized by Google

$\frac{dq}{dt} = np^{-z}$, so wird er $np_{,}^{-z}$ für die Temperatur $t_{,}$ und den Druck $p_{,}$. Bezeichnet also $c_{,}$ die diesen Bedingungen entsprechende specifische Wärme des Gases, dabei die des Wassers zur Einheit genommen, so ergiebt sich:

$$np_{,}^{-z} = c_{,}$$

und substituirt man diesen Werth von n, so erhält der Unterschied $q - q_{,}$ der beiden unbekannten Wärmegröſsen die Form:

$$q - q_{,} = c_{,}(a + t_{,})\left[\frac{a+t}{a+t_{,}} \cdot \left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z} - 1\right] \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Wie man sieht, hängt er dann nur ab von $t_{,}$, $p_{,}$, z und $c_{,}$, d. h. von der Temperatur, dem Druck, dem Capacitätscoëfficienten und der specifischen Wärme bei constantem Druck des Gases bei der Temperatur $t_{,}$ und dem Druck $p_{,}$, die zu Ausgangspunkten genommen wurden.

3. Ehe wir diese allgemeine Formel auf die Dämpfe anwenden, ist es vielleicht nicht überflüssig, in wenig Worten die Folgerungen aufzuzählen, zu welchen sie für die permanenten Gase führt, weil wir dann nur noch dasjenige anzuführen brauchen, was das Unterscheidende der Dämpfe ist, d. h. das Maximum der Spannkraft, welches jeder Temperatur entspricht und nach der Substanz verschieden ist.

1) Läſst man bei unverändertem Druck $p_{,}$ das Gas von der Temperatur $t_{,}$ zu der t übergehen, so ist der Unterschied $q - q_{,}$ der beiden bei diesen Temperaturen darin enthaltenen Wärmemengen gleich $c_{,}(t - t_{,})$, d. h. proportional zugleich der Temperaturdifferenz und der specifischen Wärme des Gases; überdieſs sieht man, daſs sie für $t > t_{,}$ positiv und für $t < t_{,}$ negativ ist. Setzt man nämlich voraus, daſs dem so sey, so bestimmt man die Form der willkührlichen Function, zu welcher man durch die Integration geführt wird; man thut also in Wirklichkeit nichts als die Hypothese wiederfinden, von der man

ausgegangen ist, sobald man die Form des allgemeinen Werths von q angenommen hat.

2) Nimmt man an, die elastische Flüssigkeit sey in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäſse enthalten und darin ursprünglich bei der Temperatur $t_{,}$ und dem Druck $p_{,}$ eingeschlossen, so bleibt ihre Wärmemenge nothwendig constant, weil sie sich durch Berührung mit den Wänden des Gefäſses weder erwärmen noch erkälten kann. Man hat stets:

$$q - q_{,} = 0$$

und folglich:

$$\left(\frac{a+t}{a+t_{,}}\right)\left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{2} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4).$$

Diese letzte Gleichung ist also der Ausdruck des Gesetzes, welches, in dieser Hypothese, die Temperaturveränderungen der elastischen Flüssigkeit mit den etwaigen Druckveränderungen derselben verknüpft.

Denkt man sich z. B. einen Cylinder von unbegränzter Länge und darin einen beweglichen Kolben, auf welchen eine angemessene Kraft ausgeübt wird, so wird das Gas alle Druckgrade, von dem schwächsten bis zu dem stärksten, und zugleich alle Volume, von dem gröſsten bis zu dem kleinsten, durchlaufen können, ohne daſs es irgendwie seine Wärmemenge ändert. Allein dann wird die Temperatur, da sie lediglich vom Druck abhängt, mit diesem zu- und abnehmen, gemäſs dem durch Gleichung (4) ausgedrückten Gesetz. Die specifische Wärme $c_{,}$ des Gases verschwindet hier, sie hat keinen sichtbaren Einfluſs auf die Resultate mehr; deſsungeachtet behält sie einen versteckten und bedeutenden Einfluſs, denn sie ist eins der Elemente des Capacitätscoëfficienten und folglich des Werthes von z.

Man kann demnach als wohl festgestellt betrachten, daſs, unter gleichem Druck und bei gleichem Volum, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenoxyd nahezu gleiche specifische Wärmecapacitäten, und überdieſs auch

Digitized by Google

denselben Capacitätscoëfficienten = 1,421 besitzen. Sie werden sich also bei dem in Rede stehenden Versuch durchaus gleich verhalten, obwohl sie bei gleichem Gewicht und unter demselben Druck eine verschiedene specifische Wärme haben. Ausgegangen von 0° und dem atmosphärischen Druck würden sie, bei den Drucken von 1000, 10000 und 100000 Atmosphären, die Temperaturen 1834°, 3894° und 7971° geben.

Durch Versuche habe ich gefunden, daſs diese Gase bis zu 100 Atmosphären beinahe demselben Zusammendrückungsgesetze folgen [1]). Ebenso kann man es als wohl erwiesen ansehen, daſs Kohlensäure, Stickstoffoxydul und ölbildendes Gas in ihrer specifischen Wärme von den vorhin genannten verschieden sind. Es folgt auch aus den Versuchen von **Dulong**, daſs der Capacitätscoëfficient verschieden ist: 1,339 für die Kohlensäure, 1,343 für das Stickstoffoxydul und 1,240 für das ölbildende Gas.

Diese Gase folgen einem rascheren Compressionsgesetze, und das letztere liquefícirt sich schwieriger als die beiden ersten; man würde also bei ihnen einen etwas gröſseren Capacitätscoëfficienten erwartet haben können. Uebrigens werden wir weiterhin sehen, daſs das ölbildende Gas sonderbare Anomalien darbietet.

Diese Resultate scheinen anzudeuten, daſs die beiden Capacitäten, bei constantem Druck und bei constantem Volum, sich gleichzeitig und wahrscheinlich in demselben Sinne ändern, und daſs auſserdem diese Veränderungen immer eine in deren Verhältniſs oder in dem Werth des Capacitätscoëfficienten nach sich ziehen. Man wird an einigen Beispielen ersehen, daſs dieser Werth geringer ist für gewisse weniger flüchtige Körper; aber diese Beispiele sind noch nicht häufig genug, um die Thatsache zur allgemeinen Regel zu erheben.

Wenn der Capacitätscoëfficient abnimmt und sich der Einheit nähert, wird die Substanz der elastischen

1) *Eléments de physique*, *edit* 4me, 1844.

Flüssigkeit gewissermaſsen durch sich selbst resistenter; denn da z alsdann sehr nahe Null ist, so giebt eine ungeheure Vergröſserung des Drucks nur eine geringe Erhöhung der Temperatur. Es scheint also, daſs es nicht mehr die entwickelte Wärme sey, durch welche die Flüssigkeit dem Druck das Gleichgewicht hält, sondern eine Art von molecularem Widerstand, welcher seinen Ursprung wohl noch in der Wärme selbst haben kann, aber sich stärker bei einer geringeren Temperatur zeigt.

3) Wir haben gesehen, daſs $c_{,} = np_{,}^{-z}$; eben so hätte man $c = np^{-z}$, wenn c die specifische Wärme bei constantem Druck für den Druck p bezeichnet. Daraus folgt:

$$\frac{c}{c_{,}} = \left(\frac{p_{,}}{p}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5).$$

Diese Beziehung zwischen den specifischen Wärmen und den Drucken ergiebt sich auch aus der vorhergehenden Gleichung; denn es leuchtet ein, daſs eine Erhöhung von einem Grad in $c_{,}$ die aus der Zusammendrückung entspringende Temperatur t um $\left(\frac{p'}{p}\right)^z$ erhöht, und die Wärmemenge um $c\left(\frac{p}{p_{,}}\right)^z$ vergröſsert. Allein diese Temperaturerhöhung um einen Grad unter dem Druck $p_{,}$ entspricht einer Wärmemenge $c_{,}$; man hat also:

$$c_{,} = c\left(\frac{p}{p_{,}}\right)^z, \quad \text{oder} \quad \frac{c}{c_{,}} = \left(\frac{p_{,}}{p}\right)^z.$$

Die specifische Wärme bei constantem Druck ändert sich also nicht mit der Temperatur, sie bleibt dieselbe für alle Punkte der Thermometerscale; eine Aenderung im Druck ist das Einzige, was sie modificiren könnte: je nachdem z gröſser oder kleiner ist, erlangt diese Modification eine gröſsere oder geringere Ausdehnung. Allein wie auch der Werth von z beschaffen seyn möge, sey er gleich 0,296, wie für die permanenten Gase, oder fast Null, wie für gewisse Dämpfe, so erleidet die specifische

Digitized by Google

Wärme doch immer umgekehrte Aenderungen wie die des Drucks; sie nimmt zu, wenn der Druck abnimmt, und umgekehrt nimmt sie ab, wenn der Druck zunimmt.

Sobald z für eine elastische Flüssigkeit bekannt ist, reicht es in allen Fällen hin zu wissen, welche specifische Wärme sie für einen gewissen Druck besitze, um daraus ihre specifische Wärme für jeden anderen Druck herzuleiten. Eben so könnte man, wenn man die zweien Drucken entsprechenden specifischen Wärmen kennte, daraus den Werth von z und folglich auch den des Capacitätscoëfficienten herleiten. Auf diese Weise führen die von Delaroche und Bérard bestimmten zwei specifischen Wärmen der Luft zu einem Werth des Capacitätscoëfficienten, der von dem aus der Schallgeschwindigkeit hergeleiteten nicht sehr abweicht.

4) Die Dichtigkeit eines Gases hängt von der Temperatur und dem Drucke ab, und diese Abhängigkeit wird ausgedrückt durch die allgemeine Relation:

$$p = bd(a + t),$$

welche für die Temperatur $t_{\prime}$ und den Druck $p_{\prime}$ übergeht in:

$$p_{\prime} = bd_{\prime}(a + t_{\prime}),$$

daraus folgt:

$$\frac{d}{d_{\prime}} = \frac{p}{p_{\prime}}\left(\frac{a + t_{\prime}}{a + t}\right).$$

Combinirt mit der Gleichung (4) giebt diese Gleichung:

$$\frac{d}{d_{\prime}} = \left(\frac{p}{p_{\prime}}\right)^{1-z} \quad , \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6),$$

welche das Gesetz für die Dichtigkeiten der Gase ausdrückt, wenn man diese in für die Wärme undurchdringlichen Gefäſsen zusammendrückt.

4. Die eben beigebrachten Formeln sind bestätigt durch die verschiedenen Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls, durch einen merkwürdigen Versuch der HH. Clement und Désormes, und durch die nach

Digitized by Google

demselben Princip von den HH. **Gay-Lussac** und **Welter** angestellten Versuche; die letzteren erstrecken sich in der Temperatur von — 20° C. bis + 40° C., und in dem Druck von 0,143 bis zu zwei Atmosphären. Alle diese Versuche bezweckten, den Capacitätscoëfficienten der Luft zu bestimmen, und zu ermitteln, ob derselbe wirklich constant und von der Temperatur und dem Druck unabhängig sey, wie es die ursprüngliche Formel voraussetzt. **Laplace** hatte in einigen Worten angedeutet, wie diese Formeln auf den Wasserdampf anzuwenden seyen [1]), und **Poisson**, indem er später die Aufgabe unter einer anderen Form aufnahm [2]), hatte gesucht, aus den ihm zu Gebote stehenden Versuchen den Werth des Capacitätscoëfficienten abzuleiten; er schätzte ihn annähernd auf 1,073. **Poisson** erkannte wohl, daſs die Hypothese, welche ihm dieses Resultat geliefert hatte, nicht mit den Thatsachen übereinstimme; allein er giebt kein Mittel an, aus diesem Widerspruch herauszukommen, und eben so wenig eine Methode, die experimentellen Data auf eine genügendere Weise zu gebrauchen [3]).

Ich weiſs nicht, daſs, unter diesem Gesichtspunkt, die Frage über die Dämpfe weitere Entwickelungen erfahren hätte. Es ist unter diesem Gesichtspunkt, und, gewissermaſsen, um die Fundamentalformeln auf die Probe zu stellen, daſs ich hier ihre Behandlung vornehme.

Man hat sich mit der Relation zwischen den Spannungsmaximis und den entsprechenden Temperaturen des Wasserdampfs viel beschäftigt, hat glückliche Versuche gemacht, um die eine dieser Gröſsen in Function der anderen auszudrücken; allein diese verschiedene Functionen, selbst die, welche die Data der Erfahrung am getreusten wiedergeben, können für nicht mehr als empi-

ri-

1) *Mécanique céleste, Liv. XII, p.* 139.

2) *Annales de chim. et de phys.* (1823) *T. XXIII, p.* 337. — (Gilb. Ann. Bd. 76, S. 269.)

3) *Traité de mécanique* (1833), *T. II, p.* 650.

Digitized by Google

rische Formeln gehalten werden. Die Thatsachen sind hier zu complex, als daſs die Formel, die denselben ihren Ursprung verdankt, in gleichen Rang gestellt werden könnte mit der, welche von einer allgemeinen Idee ausgeht, und dadurch allein, wenn nicht ihre physikalische Rechtfertigung, doch wenigstens den Grund, abstract zu seyn, in sich trägt. Deshalb werde ich mich bei der folgenden Discussion enthalten, mit den theoretischen Formeln diejenigen zu vermengen, welche den Druck in Function der Temperaturen ausdrücken. Ueberdieſs sind diejenigen dieser Formeln, die für einen Dampf gut sind, vielleicht schlecht für einen anderen; denn nichts sagt uns, daſs sie nicht Elemente enthalten müſsten, die sich sowohl mit der atomistischen Zusammensetzung als mit der eigenen Substanz jeder Flüssigkeit änderten. Sie würden somit ihre Allgemeinheit verlieren können, während dieser Charakter den theoretischen Formeln verbliebe, welche das Spannungsmaximum nur als eine letzte, von ihnen nicht zu überschreitende Gränze berühren.

Dieſs gesetzt, nehmen wir wieder unsere allgemeine Gleichung:

$$q - q_{,} = c_{,}(a + t_{,})\left[\frac{a+t}{a+t_{,}} \cdot \left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z} - 1\right]$$

und geben ihr die Form:

$$q - q_{,} = c_{,}(a + t_{,})\,(y - 1),$$

indem wir setzen:

$$y = \frac{a+t}{a+t_{,}} \cdot \left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z},$$

wo also y den ganzen veränderlichen Theil vorstellt.

Beschäftigen wir uns zunächst mit dem Wasserdampf. Gesetzt $q_{,}$ repräsentire die gesammte und unbekannte Wärmemenge, welche in einem Kilogramm Wasserdampf bei der Temperatur 100° und dem Druck von 760 Millim. enthalten ist; alsdann ist $t_{,} = 100°$, $p = 760$ Millim. und $c_{,}$ bezeichnet die specifische Wärme bei constantem Druck unter den Umständen, welche wir als Ausgangs-

punkt wählten, d. h. unter dem atmosphärischen Druck. Zugleich repräsentirt q die gesammte und gleichfalls unbekannte Wärmemenge, welche ein Kilogramm Wasserdampf bei der Temperatur t und dem Druck p enthält, wo diese Temperatur und dieser Druck beide willkürlich und unabhängig sind. Beim Maximum der Spannung hört diese Unabhängigkeit auf; für jeden Werth von t giebt es nur einen einzigen Werth von p, welchen man nur in die Formel einzuführen braucht, um zu specificiren, daſs sie für diesen besonderen Fall gelte.

Wäre der Capacitätscoëfficient k für den Wasserdampf bekannt, so würde sich daraus der Werth von z mittelst der Relation $z = \frac{k-1}{k}$ ergeben, und wenn man successive, in dem Werth von y, für t die Reihe der Temperaturen und für p das einer jeden Temperatur entsprechende Spannungsmaximum substituirte, so hätte man für y eine Reihe von Zahlen, die sogleich den Unterschied der Wärmegröſsen $q - q_{,}$ für jede Temperatur gäben. Man würde also beim Anblick dieser Resultate wissen, ob die in einem Kilogramm Dampf enthaltene Wärmemenge constant sey, oder ob sie mit steigender Temperatur zu- oder abnehme.

Damit sie constant wäre, müſste man immer haben $q - q_{,} = 0$, und folglich auch immer $y = 1$, wie auch die Werthe von t und p seyen. Allein man kann sich leicht überzeugen, daſs dem nicht so ist, denn $y = 1$ giebt eine Art Bedingungsgleichung, welche unter die Form:

$$z = \frac{\log(a+t) - \log(a+t_{,})}{\log p - \log p_{,}} \quad . \; . \; . \; . \quad (7)$$

gebracht werden kann, und dieser Gleichung wird nicht durch die verschiedenen Werthe von t und p genügt, oder vielmehr giebt sie für z keinen constanten Werth. Man muſs also schlieſsen: entweder daſs das Kilogramm Wasserdampf beim Maximum der Spannkraft nicht dieselbe Wärmemenge enthalte, oder daſs die theoretische Formel mangelhaft sey, entweder vermöge ihrer Principien,

Digitized by Google

oder weil sie mit Unrecht den Capacitätscoëfficienten als unabhängig von Temperatur und Druck voraussetzt.

Angenommen die Wärmemenge ändere sich; alsdann kann man in dieser Hinsicht alle möglichen Hypothesen machen, man kann annehmen, daſs sie sich oscillatorisch oder abwechselnd ändere, d. h. daſs sie Maxima und Minima habe, die sich entweder nur ein Mal zeigen, oder sich in dem bekannten Theil der Thermometerscale mehrmals wiederholen. Eben so kann man annehmen, und dieſs scheint mir natürlicher, daſs die Wärmemenge einfach wachsend oder abnehmend sey, nicht in gleichförmiger, aber doch in stetiger Weise, ohne daſs ein anderes Maximum oder Minimum stattfinde, als das, was den äuſsersten Temperaturen angehört.

Ueber diesen Punkt wissen wir nichts; allein ich glaube, daſs wir aus der Auslegung der vorstehenden Gleichung wichtige Folgerungen ziehen können. Wenn nämlich die Wärmemenge eine mit der Temperatur z. B. wachsende ist, so muſs $t > t_{,}$ immer $q - q_{,} > 0$ und folglich $y > 1$ geben, und $t < t_{,}$ muſs auch immer $q - q_{,} < 0$ und folglich $y < 1$ geben. Das Umgekehrte fände statt, wenn die Wärmemenge mit steigender Temperatur abnähme.

In beiden Fällen könnte man $y = 1$ nur haben, wenn $t = t_{,}$, eine Bedingung, welche immer von selbst erfüllt ist, unabhängig von der Gröſse, welche man z beilegen kann.

Allein jeder Werth von z, den man aus der Bedingungsgleichung ziehen kann, wenn man darin für t eine Temperatur und für p das entsprechende Spannungsmaximum substituirt, giebt $y = 1$ und folglich $q - q_{,} = 0$. Keiner dieser Werthe kann also der wahre von z seyn, weil dieser nothwendig $y > 1$ für $t > t_{,}$, und $y < 1$ für $t < t_{,}$, oder umgekehrt, geben muſs, je nachdem die Wärmemenge eine mit der Temperatur wachsende oder abnehmende ist. Das Stetigkeitsgesetz zeigt übrigens an, daſs diese Werthe von z sich nicht plötzlich ändern, so daſs

zwei, die zweien consecutiven Werthen von t entsprechen, ein endliches Intervall zwischen sich lassen.

Es muſs also durchaus der wahre Werth von z, der, welcher den Capacitätscoëfficienten zu geben hat, kleiner seyn als der kleinste der aus der Bedingungsgleichung gezogene oder gröſser als der gröſste.

Diese Folgerung zeigt uns, wie viel Interesse es habe, die aus dieser Gleichung für die verschiedenen Werthe von t und p hervorgehenden Werthe mit Sorgfalt zu untersuchen.

Die folgende Tafel enthält diese Resultate für den Wasserdampf; es schien mir nöthig, sie für die verschiedensten Werthe von $t_{\prime}$ und $p_{\prime}$ aufzusuchen. Weniger nützlich wäre es, diese Rechnung von Grad zu Grad auszuführen; ich habe ziemlich entfernte Intervalle nach Zufall und ohne Auswahl genommen.

Werthe von z und k, von verschiedenen Punkten ausgegangen[1]).

Werthe von		Entsprechende Werthe von z und k: für $t_{\prime} = 0{,}0$, $p_{\prime} = 4{,}6$		für $t_{\prime} = 100$, $p_{\prime} = 760$		für $t_{\prime} = 181{,}6$, $p_{\prime} = 10$ At.	
t.	p.	z.	k.	z.	k.	z.	k.
− 32°,0 C.	0,31	0,04640	1,0487	0,05615	1,0595	0,06298	0,0672
0 ,0	4,60			0,06130	1,0653	0,06902	1,0742
+ 50 ,0	91,98	0,05633	1,0597	0,06835	1,0734	0,07763	1,0842
80 ,0	364,54	0,05896	1,0627	0,07521	1,0811	0,08349	1,0911
121 ,4	2.760	0,06362	1,0679	0,08069	1,0878	0,08847	1,0971
153 ,0	5.760	0,06644	1,0712	0,08347	1,0911	0,09396	1,1037
181 ,6	10.760	0,06902	1,0741	0,08613	1,0942		
214 ,7	20.760	0,07181	1,0774	0,08971	1,0985	0,10161	1,1131
236 ,2	30.760	0,07346	1,0793	0,09173	1,1010	0,10346	1,1151
266 ,0	50.760	0,07562	1,0818	0,09432	1,1043	0,10603	1,1186
311 ,0	100.760	0,07850	1,0851	0,09756	1,1081	0,10900	1,1223
444 ,7	500.760	0,08557	1,0936	0,10552	1,1179	0,11693	1,1326
516 ,76	1000.760	0,08861	1,0972	0,10881	1,2210	0,12013	1,1365

1) Zu diesen Berechnungen habe ich unterhalb 0° die neuerlich von Hrn. Regnault beobachteten Spannungen angewandt; zwischen 0° und 100° die ehedem von mir nach der Laplace'schen durch Hr. Biot modificirten Formel (Biot, *Traité de phys.*, *T. I*, 1816) berechnete Tafel, und über 100° die von den HH. Arago und Dulong gegebene Tafel, welche sich bekanntlich bis 24 Atmosphären erstreckt. Diese Gränze ihrer Versuche ist bis jetzt noch die höchste,

Digitized by Google

Man sieht also, daſs, von welchem Punkte man auch ausgehen möge, sey es von 0°, von 100° oder 181°,6, die Werthe von z und also die daraus hervorgehenden des Capacitätscoëfficienten stets mit steigender Temperatur zunehmen, und überdieſs desto geringer sind, als man eine niedrigere Temperatur zum Ausgangspunkt wählt. Es ist indeſs sicher, daſs der wahre Werth von z weder von dem für $t_{,}$ genommenen Ausgangspunkt abhängt, noch von der Thermometerscale, noch selbst von der Einheit, deren man sich zur Zählung der Wärmemengen bedient; er ist unabhängig von allen diesen conventionellen Punkten, alleinig dadurch, daſs der Capacitätscoëfficient nur ein Verhältniſs zweier Wärmemengen ist und ursprünglich an sich als unabhängig von der Temperatur angenommen ward. Der kleinste der für z gefundenen Werthe gehört zu — 32° C. und entspringt aus der Hypothese $t_{,}=0$. Der gröſste gehört zu 236°,2 C. (diese Temperatur als obere Gränze der beobachteten genommen) und entspringt aus $t_{,}=181{,}6$; es ist also zu schlieſsen, daſs der wahre Werth von $z<0{,}04640$ oder $>0{,}10346$ ist. Sicher würden diese Gränzen etwas weiter auseinander liegen, wenn man für $t_{,}$ successive die niedrigste Temperatur — 32° C., und die höchste + 236°,2 C. nähme, und sie würden es noch mehr, wenn die Versuche sich gegen die beiden Extremitäten der Thermometerscale erstreckten; allein hier ist es weniger wichtig, genau zu wissen, welches die Gränzen seyen, als die Methode, durch welche man sie findet, begreiflich zu machen.

Angenommen z müsse unterhalb der unteren Gränze 0,0464 genommen werden, so hat in der Gleichung:

die man kennt. Aus bloſser Neugierde habe ich noch die Drucke von 50, 100 und 1000 Atmosphären, aus der von den HH. Arago und Dulong angewandten Formel abgeleitet, hinzugefügt. Die drei letzten Resultate treten nicht in die Erörterung ein; sie zeigen indeſs, daſs diese Formel selbst für 1000 Atmosphären noch keine Zahlen von offenbarer Unmöglichkeit liefert.

$$y = \frac{a+t}{a+t_{,}} \cdot \left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z}$$

z einen constanten, aber kleineren Werth als ihn $y=1$ giebt. Nun hat man für $t>t_{,}$ immer $p>p_{,}$, und $\left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z}$ ist ein Bruch, dessen Werth um so gröſser ist, je kleiner z; also hat man für $t>t_{,}$ immer $y>1$ und folglich $q-q_{,}>0$.

Eben so hat man für $t<t_{,}$ immer $p_{,}>p$, und $\left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z}$ ist >1, sein Werth ist desto kleiner als z kleiner; also hat für $t<t_{,}$ immer $y<1$ und folglich $q-q_{,}<0$.

Die Wahl der unteren Gränze zieht mithin die Folgerung nach sich, daſs die Wärmemenge des Dampfs eine mit der Temperatur wachsende sey; und es ist durch ein analoges Raisonnement leicht zu ersehen, daſs die Wahl der oberen Gränze zu der Folgerung führt, daſs die Wärmemenge des Dampfs eine mit steigender Temperatur abnehmende sey.

Wir können daraus noch einen anderen wichtigen Schluſs ziehen. Da nämlich die aus der Bedingungsgleichung abgeleiteten Werthe von z ohne abwechselnde Perioden beständig wachsen, so folgt, daſs die Werthe von y auch keine Abwechselungen darbieten werden, und mithin die Wärmemengen des Dampfs nothwendig in stetiger Weise zu- oder abnehmen, ohne daſs zwischen zwei consecutiven Unterschieden ein Zeichenwechsel stattfindet.

Es würde sowohl für den Wasserdampf als für andere Dämpfe von bekannter Spannung leicht seyn, Curven zu construiren, welche die Werthe von z für $y=1$, die Werthe von y für $z = const.$ und selbst die Werthe von $q-q_{,}$ veranschaulichten. Vielleicht könnte auch die Discussion dieser Curven bei verschiedenen Hypothesen über das Gesetz der Spannungen von Interesse seyn.

Allein ohne in diese Untersuchung einzugehen, begnüge ich mich zu schlieſsen, daſs in allen Fällen und

Digitized by Google

für alle Dämpfe die Wärmemengen wachsende seyn werden, wenn man für z die untere Gränze nehmen muſs, und dagegen abnehmende, wenn man die obere Gränze zu wählen hat.

Die ganze Aufgabe kommt nun darauf zurück, neue dem Versuch zugängliche Kennzeichen aufzusuchen, mittelst welcher man sich über diese beiden Gränzen entscheiden könne.

Die Veränderung der latenten Wärme kann uns Kennzeichen dieser Art liefern.

5. Bezeichnen wir mit x die absolute Wärmemenge, welche 1 Kilogramm flüssiges Wasser bei 0° besitzt, mit s seine Wärmecapacität und im Allgemeinen mit λ die latente Wärme seines Dampfs.

Die gesammte Wärmemenge $q_{,}$, welche 1 Kilogramm Wasserdampf beim Maximum seiner Spannung $p_{,}$ und bei der Temperatur $t_{,}$ besitzt, besteht aus aller der, welche 1 Kilogramm Wasser bei 0° enthält aus der, welche es gebraucht, um mit Beibehaltung des flüssigen Zustandes auf die Temperatur $t_{,}$ zu gelangen, und endlich aus der latenten Wärme $\lambda_{,}$, welche man noch hinzufügen muſs, um die Verdampfung unter dem Maximumdruck $p_{,}$ zu bewerkstelligen. Man hat also:

$$q_{,} = x + st_{,} + \lambda_{,},$$

und eben so für irgend eine Temperatur t und das entsprechende Spannungsmaximum p:

$$q = x + st + \lambda.$$

Daraus folgt:

$$\lambda = \lambda_{,} + q - q_{,} - s(t - t_{,}).$$

Wenn das Temperaturintervall $t - t_{,}$ sehr beträchtlich wäre, würde der Werth s nicht streng derselbe seyn können in dem Ausdruck von $q_{,}$ und dem von q; allein es ist hier nicht nöthig, diesen Unterschied in Rechnung zu ziehen.

Was zunächst in diesem allgemeinen Werth von λ überrascht, ist: daſs er zwei Glieder enthält, die von

Digitized by Google

gleichem, oder von entgegengesetzten Zeichen seyn können. Im ersteren Fall nimmt die latente Wärme mit steigender Temperatur immer ab, und überdieſs verändert sie sich sehr rasch, weil das letzte Glied, welches der Temperaturdifferenz proportional ist, einen beträchtlichen Werth haben wird, ungerechnet den, der aus dem Gliede $q - q_{,}$ der Wärmedifferenzen entspringt. Im zweiten Falle dagegen heben sich die entgegengesetzten Glieder auf, wenigstens zum Theil, und dann ist es ihre relative Gröſse, von welcher der zu- oder abnehmende Werth von λ bedingt wird. Es wäre streng genommen möglich, daſs es in diesem Falle Alternative von Maximis und Minimis gäbe.

Bei dem Wasserdampf ist die latente Wärme nur für den Siedpunkt bekannt; sie scheint alsdann 537 Einheiten zu betragen. Nehmen wir dieſs zum Ausgangspunkt, indem wir $t_{,} = 100$ und $\lambda_{,} = 537$ machen.

Müſste man für z die obere Gränze nehmen, so würde die Wärmemenge $q - q_{,}$, als abnehmend, positiv seyn für $t = 0$, und ihr Werth würde nahezu 100 Einheiten betragen, selbst wenn man z einen der Gränze sehr nahen Werth gäbe; da überdieſs $s = 1$, so würde man haben:

$$- s(t - t_{,}) = 100$$

und

$$\lambda = \lambda_{,} + 200,$$

d. h. die latente Wärme bei 0° wäre um mehr als 200 Einheiten gröſser als die bei 100°. Diese Folgerung schien mir sehr merkwürdig.

Ich habe also die latente Wärme des Dampfs für die Temperatur 0° bestimmt. Man weiſs, daſs derlei Bestimmungen schwierig sind, allein ich hatte hier hinreichenden Spielraum, um keinen Irrthum zu befürchten. Folgendes ist die von mir angewandte Methode.

Ein Rohr von dünnem Glase, etwa 1 Centimeter im Durchmesser und 20 Centim. in der Länge, von bekanntem Gewicht, enthält einige Grammen Wasser, welche sorgfältig gewogen worden und zur Verdampfung bestimmt

sind. Um die latente Wärme zu sammeln, die sie bei der Zustandsänderung aufnehmen müssen, taucht man das Rohr in ein nahe bis 0° erkaltetes Bad, dessen Erwärmungsgesetz man beobachtet. Dieses Bad besteht aus etwa 100 Grammen Wasser, die in einer Glocke von dünnem Glase, von 4 bis 5 Centim. Durchmesser und hinlänglicher Höhe, enthalten sind. Um die Verdichtung der äuſseren Dämpfe an den Wänden der Glocke zu verhüten, ist sie mittelst eines Korks befestigt in einem cylindrischen Glasgefäſs von 12 bis 15 Centim. Durchmesser und hinreichend groſser Höhe, damit die Schicht Schwefelsäure, welche den Boden bedeckt, keine zu directe Einwirkung auf den unteren Theil der Glocke ausübe. Dadurch vermindert man die Verdichtung der Dämpfe und die Wirkung von Luftströmen, welche beide das Erwärmungsgesetz stören würden.

Das Wasser im Bad muſs ein um einige Centimeter höheres Niveau haben, als das Wasser in der Verdunstungsröhre; es muſs durch zweckmäſsiges Umrühren regelmäſsig bewegt werden; die Temperatur wird durch ein mit dem Kathetometer abgelesenes Thermometer angegeben.

Nachdem die Sachen sonach vorgerichtet sind, bestimmt man sorgfältig die Dauer der Erwärmung für jeden halben Grad, z. B. von 3 oder 4° bis 7 oder 8°. Während dieser ersten Periode erfolgt keine Verdampfung in der Röhre; zwar steht diese in Gemeinschaft mit der Luftpumpe oder vielmehr mit einer Glocke, die concentrirte Schwefelsäure enthält, allein das Vacuum ist nicht gemacht. Sobald die Erwärmung bis 8° gediehen ist, beginnt die zweite Periode, d. h. man stellt das Vacuum her, zwar rasch, aber doch mit der Vorsicht, damit das Sieden mäſsig sey, ohne Aufstoſsen und Fortschleudern der Flüssigkeit. Augenblicklich verlangsamt sich der Gang der Erwärmung; man könnte das Thermometer sogar auf 7°,5 zurückbringen oder wenigstens 10 bis 12 Minuten,

Digitized by Google

was die zur Verdampfung von 1 bis 2 Grm. Wasser erforderliche Zeit ist, auf 8° halten. Dann läſst man wieder Luft eintreten, und zur gröſseren Sicherheit während dieser dritten und letzten Periode fährt man noch fort, das Erwärmungsgesetz bis 10 oder 11 Grad zu beobachten, wenn die umgebende Temperatur etwa 20° ist.

Diese Angaben werden ohne weiteres Detail hinreichen, um zu zeigen, daſs diese Methode ihren Zweck erfüllt. Kennt man durch eine neue Wägung das Gewicht des verdampften Wassers, kennt die Zeit, während welcher das Bad, mit seinem ganzen Inhalt, durch den Effect der Verdampfung zwischen 7 und 8° gehalten ward, und weiſs wie viel Wärme es innerhalb dieser Zeit aufnehmen muſste, so ist es leicht, daraus die Wärmemenge abzuleiten, welche ihm die Verdampfung selbst entzogen hat.

Mehre Versuche, deren Resultate ziemlich übereinstimmten, gaben mir für die latente Wärme des Wasserdampfs bei 0° etwa 560 Einheiten.

Die Hauptschwierigkeit bei diesen Versuchen entspringt aus einem Phänomen, welches ich, ich bekenne es, nicht vorausgesehen hatte. Die Präparatoren haben so viele Mühe, in den Vorlesungen den Leslie'schen Versuch anzustellen, daſs ich nicht erwartete, hier in der Gefrierung durch das Vacuum ein Hinderniſs anzutreffen, und dennoch geschah es. Die zu verdampfende Flüssigkeit befand sich, wie gesagt, umgeben von dem Wasser des Bades, dessen Temperatur 7 bis 8° war, und überdieſs lebhaft umgerührt ward, besonders an dem Punkt, wo sich die Kälte erzeugte. Ungeachtet dieser bedeutenden Erwärmung gefror die oberflächliche Schicht unaufhörlich, wenn man nicht die Operation mit besonderer Sorgfalt mäſsigte, und es geschah oft, daſs sich dann eine Art von Stempel bildete, welcher, fortgeschleudert durch die Spannkraft des Wassers gegen das darunter befindliche Eis, bisweilen bis in die Luftpumpe flog. Man muſs nicht bloſs diese Fehlerquelle vermeiden, sondern gar mit gröſster Sorgfalt darauf ach-

Digitized by Google

ten, daſs nichts von der Flüssigkeit durch das Aufkochen gegen die über dem Niveau des Bades befindlichen Wände der Röhre gespritzt werde. Man gelangt dahin, indem man aus feinem Platindraht gewissermaſsen einen lockeren Pfropfen in der Flüssigkeit bildet, und einen zweiten ähnlichen Pfropfen etwas über deren Oberfläche, aber unter dem Niveau des Bades anbringt.

Es scheint also gewiſs, daſs bei der Temperatur des schmelzenden Eises der Werth von $q - q_{,}$ negativ ist, daſs mithin der Werth von z durch die untere Gränze bestimmt werden muſs, und daſs der Wasserdampf Wärmemengen enthält, die mit der Temperatur wachsen.

Ich bin geneigt zu glauben, daſs der Alkohol- und der Aetherdampf, ebenfalls wie der Wasserdampf, wachsende Wärmemengen enthalten. Hr. Despretz hat früher die latente Wärme dieser Dämpfe bestimmt[1]), und die von ihm gefundenen Zahlen, 208 für den Alkohol und 97 für den Aether, sind seitdem bestätigt worden und können als fast richtig angesehen werden; sie gelten für die Siedpunkte, nämlich 78°,7 und 35°,7, und für Flüssigkeiten, deren Capacitäten waren 0,622 und 0,520.

Mit diesen Daten ist es leicht aus der vorstehenden Formel zu ersehen, daſs bei der Temperatur 0° die latente Wärme dieser Dämpfe gebracht werden müsse, für den ersteren auf mehr als $208 + 49 = 257$ und für den zweiten auf mehr als $97 + 19 = 116$, wenn sie von abnehmender Wärmemenge wären.

Analoge Versuche, wie die von mir mit Wasser gemachten, gaben mir für absoluten Alkohol etwa 215 bis 220; aber für den Aether gaben sie mir allerdings eine der Gränze 116 sehr nahe kommende Zahl, wodurch denn für diese letzte Flüssigkeit die Frage unentschieden bleibt.

6. Nachdem ich erwiesen habe, daſs bei einem Dampf der Vergleich zweier latenten Wärmen, die bei zwei etwas auseinanderliegenden Temperaturen genommen sind, im

1) *Ann. de chim. et de phys.*, (1823), *T. XXIV, p.* 329.

Allgemeinen hinreicht, um zu entscheiden, ob dieser Dampf von wachsender oder abnehmender Wärmemenge sey, bleibt noch eine für die Wissenschaft sehr wichtige Aufgabe zu lösen, nämlich die Bestimmung des Capacitätscoëfficienten. Dieſs Element ist das wichtigste für die Theorie der elastischen Flüssigkeiten, und wenn es für Dämpfe bekannt wäre, deren Spannungen man auch kennt, so könnte man daraus, wenn auch nicht das Gesetz, doch wenigstens den Gang der Zu- und Abnahme der Wärmemengen herleiten.

Die Gleichung der latenten Wärmen, combinirt mit der der Wärmemengen, giebt für die Temperatur 0° und den Wasserdampf:

$$c_{,} = \frac{100 - (\lambda - \lambda_{,})}{273 - 272\left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z}}.$$

$p_{,}$ ist immer gleich 760 Millimeter und $p = 4^{mm},6$. Dieser Werth der specifischen Wärme des Wasserdampfs bei 100° wird desto gröſser seyn, je gröſser z selber ist. Für $z = 0$, $z = 0{,}01$, $z = 0{,}02$, $z = 0{,}03$, $z = 0{,}04$ wird der Nenner folgweise: 100, 86, 71, 55 und 39. Andrerseits deuten meine Versuche zwar auf einen positiven Werth von $\lambda - \lambda_{,}$, weil es gegenwärtig erwiesen scheint, daſs $\lambda_{,}$ oder die latente Wärme des Wassers bei 100° nur 537 ist; allein bei Annahme dieser Zahl würde man haben $\lambda - \lambda_{,} = 23$, und wenn wenigstens z nicht ungemein klein wäre, würde man für $c_{,}$ einen Werth gröſser als eins haben.

Die specifische Wärme des Wasserdampfs ist uns durch die Untersuchungen von Delaroche und Bérard bekannt; nach einem Versuche, den diese Physiker selber für zweifelhaft halten, schätzen sie dieselbe auf 0,847. Die groſse Arbeit über die specifische Wärme der Gase, von welcher dieser Versuch einen Theil ausmacht, ist ohne Widerrede eine der merkwürdigsten in der experimentellen Physik zu Anfange dieses Jahrhunderts. Man

Digitized by Google

kann wohl sagen, daſs es nicht eins der vielen darin enthaltenen Resultate gäbe, welches nicht bestätigt worden wäre, und nicht eine der angewandten Beobachtungsweisen, welche nicht zum Fortschritt der Wissenschaft gedient hätte. Man darf sich also nicht wundern, wenn die meisten Physiker die Zahl 0,847 für die specifische Wärme des Wasserdampfs mit gröſserem Vertrauen angenommen haben als die Urheber selbst.

Dennoch scheint mir, den vorstehenden Betrachtungen zufolge, die Genauigkeit dieses Resultats wenig wahrscheinlich, und nach schärferer Prüfung des Versuchs der HH. Delaroche und Bérard bin ich zu glauben geneigt, daſs er wirklich eine gröſsere Zahl als 0,847 giebt.

Folgendes ist nämlich die Stelle, welche sich auf diese Rechnung bezieht [1]). Nachdem sie hinter einander zwei Versuche gemacht haben, den einen mit trockner Luft, den anderen mit feuchter, bei 39° mit Wasserdampf gesättigter Luft, sagen die Verfasser:

„Der Unterschied zwischen den Resultaten dieser beiden, genau unter denselben Umständen gemachten Versuche beträgt also $9°,5 - 8°,4 = 1°,1$, und das ist der Effect des Wasserdampfs.“

„Das Barometer stand während der Dauer des Versuchs auf $0^{mm},7596$, und andrerseits ist die Spannung des Wasserdampfs bei 39° C., zufolge der Dalton'schen Tafel, gleich $0^{mm},0505$; folglich stand in der mit Dampf gesättigten Luft das Luftvolum zum Dampfvolum in dem Verhältniſs 15 : 1. Da der Effect elastischer Flüssigkeiten auf das Calorimeter unter gleichen Umständen proportional ist der durchströmenden Menge, so folgt aus obigen Versuchen, daſs wenn ein Volum trockner Luft die Temperatur des Calorimeters um 8°,4 über die der umgebenden Luft erhöht, ein gleiches Volum Dampf, unter sonst gleichen Umständen, sie um 16°,5 erhöhen wird. Wenn folglich die specifische Wärme der Luft gleich eins ist, wird die eines

1) *Annales de chimie* (1813), *T. LXXXIV*, *p.* 131.

gleichen Volums Dampf 1,96 seyn, und die eines gleichen Gewichts 3,136, welches, multiplicirt mit 0,2669, der specifischen Wärme der Luft in Bezug auf Wasser, giebt: 0,847."

Ohne in anderweitige Betrachtungen einzugehen und mich bloſs an den in dieser Stelle angedeuteten Gang haltend, bemerke ich, daſs da beim Durchgang der feuchten Luft durch das Calorimeter das Volum des Dampfs $\frac{1}{16}$ von dem der Luft war, wirklich nur $\frac{15}{16}$ des Volums an Luft durchgingen, welche folglich in dem Calorimeter einen Effect hervorbringen muſsten gleich $\frac{15}{16}$ von 8°,4 oder 7°,875. Die Wirkung des Dampfs war also 9°,5 — 7°,875 = 1°,625 statt 1°,1. Dieser Unterschied muſs mit 16 multiplicirt werden, um den Effect des Dampfs mit dem der trocknen Luft vergleichbar zu machen; mithin hatte der Dampf für sich im Calorimeter eine Erhöhung von 26° hervorgebracht. Bei gleichem Volum ist seine Capacität also gleich $\frac{26}{8,4} = 3,1$ in Bezug auf die der Luft, und bei gleichem Gewicht gleich $3,1 \times \frac{8}{5} = 4,96$; endlich ist sie $4,96 \times 0,2669 = 1,32$, wenn man sie auf Wasser bezieht.

Wenn ich nicht selbst einen Fehler bei dieser Berichtigung begehe, so würde folgen, daſs der Versuch von Delaroche und Bérard, wenn er die specifische Wärme des Wasserdampfs auch nicht sehr genau giebt, doch wenigstens andeutet, daſs deren Werth eher über als unter der des flüssigen Wassers liegt.

Bei den Unsicherheiten, die einerseits rücksichtlich der specifischen Wärme des Wasserdampfs übrig bleiben können, und andrerseits sowohl meinen Resultaten über die latente Wärme bei 0°, als der Zahl 537 selber anhaften mögen, bin ich geneigt zu glauben, daſs der wahre Werth z sehr nahe an 0,02 oder 0,03 liege; dieſs giebt für den Capacitätscoëfficienten des Wasserdampfs:

$$k = 1,020 \quad \text{oder} \quad k = 1,031.$$

Jedenfalls kann der Werth von $q - q_{,}$ als wesentlich

Digitized by Google

negativ für $t < t_{,}$ und positiv für $t > t_{,}$ sich nicht so rasch verändern als $s(t - t_{,})$, und daraus folgt, daſs die latenten Wärmen des Wasserdampfs mit steigender Temperatur langsam abnehmen, obwohl die gesammten Wärmemengen selbst zunehmen. Indeſs zeigt eine leichte Rechnung, daſs das Verhältniſs der latenten Wärmen nicht gleich ist dem Verhältniſs der specifischen Wärmen, obgleich es in demselben Sinne variirt.

Dieser Schluſs gilt auch für den Alkohol und sehr wahrscheinlich für den Aether; ich sehe also bis jetzt keine Flüssigkeit, deren latente Wärme mit der Temperatur zunehme.

§. III.

7. Wir können nun zur Untersuchung einer anderen Ordnung von Phänomenen übergehen. Man kennt die groſse und schöne Arbeit des Hrn. Faraday über die Liquefaction der Gase [1]). Dieser geschickte Physiker hat nicht nur die meisten der Körper, die seit ihrer Entdeckung gewissermaſsen als eben so bleibend elastische Flüssigkeiten wie die Luft betrachtet wurden, liqueficirt und solidificirt, sondern auch die Spannungsmaxima gemessen, welche diese neue Art von Dämpfen bei verschiedenen Temperaturen ausüben. Wir besitzen sonach für diese mit so groſser Spannkraft begabten und, wenn sie in flüssigen Zustand versetzt sind, so schwer zu behandelnden Körper zwar wenig ausgedehnte, aber sehr analoge Elasticitätstafeln, wie für den Wasserdampf.

Die folgende Tafel, die ich aus der fünften Auflage meiner *Eléments de Physique, p.* 345, entnehme, faſst diese Angaben für *sechs* der schwerst liqueficirbaren Körper zusammen. Die Temperaturen sind darin in Centigraden, und die Spannungen in Atmosphären ausgedrückt:

1) Annal. Ergänzungsband II. S. 193.

Temperatur.	Oelbildendes Gas.	Kohlensäure.	Stickstoffoxydul.	Chlorwasserstoffgas.	Schwefelwasserstoffgas.	Arsenwasserstoffgas.
— 87°,2			1,0			
— 84 ,4			1,1			
— 81 ,7			1,2			
— 78 ,9		1,2	1,4			
— 76 ,1			1,6			
— 73 ,3	9,3	1,8	1,8	1,8	1,0	
— 70 ,5			2,0			
— 67 ,8	10,3	2,8	2,3	2,4	1,2	
— 65 ,0			2,7			
— 62 ,2	11,3	3,9	3,1	3,1	1,3	
— 59 ,4		4,6	3,6			0,9
— 56 ,7	12,5	5,3	4,1	4,0	1,6	1,1
— 53 ,9			4,7			
— 51 ,1	13,9	7,0	5,4	5,1	1,9	1,4
— 48 ,3			6.1			
— 45 ,5	15,4	8,9	6,9	6,3	2,4	1,8
— 42 ,8			7,8			
— 40 ,0	17,0	11,1	8,7	7,7	2,9	2,3
— 37 ,2			9,7			
— 34 ,4	18,9	13,5	10,9	9,2	3,5	2,8
— 31 ,7			12,0			
— 28 ,9	21,2	16,3	13,3	10,9	4,2	3,5
— 26 ,1		17,8	14,7			
— 23 ,3	23,9	19,4	16,1	12,8	5,1	4,3
— 20 ,5			17,7	13,9		4,7
— 17 ,8	27,2	22,8	19,3	15,0	6,1	5,2
— 15 ,0		24,8	21,1			
— 12 ,2	31,7	26,8	22,9	17,7	7,2	6,2
— 9 ,4		29,1	24,8			
— 6 ,7	36,8	30,7	26,8	21,1	8,4	7,4
— 3 ,9			28,9	23,1		
— 1 ,1	42,5	37,2	31,1	25,3	9,9	8,7
+ 1 ,7			33,4			
+ 4 ,4				30,7	11,8	10,0

Untersuchen wir zuvörderst die drei ersten dieser Körper. Zur Abkürzung der Rechnung begnüge ich mich aufs Gerathewohl einen Theil der beobachteten Temperaturen und Drucke herauszugreifen, um sie in der Bedingungsgleichung (7) zu substituiren und daraus die Werthe von z herzuleiten. Die Resultate sind in folgender Tafel enthalten.

Re-

Resultate für das ölbildende, Kohlensäure- und Stickstoffoxydulgas, $t_{\prime} = -40^0$ genommen.

Temperatur.	Oelbild. Gas		Kohlensäure.			Stickstoffoxydul.		
	p.	z.	p.	z.	$q - q_{\prime}$.	p.	z.	$q - q_{\prime}$
— 67°,8	10,3	0,255	2,8	0,0926	+ 6,76	2,3	0,0959	+ 7,36
— 56 ,7	12,5	0,243	5,3	0,1012	+ 3,24	4,1	0,0995	+ 3,89
— 45 ,5	15,4	0,242	8,9	0,1084	+ 0,89	6,9	0,1033	+ 1,04
— 40 ,0	17,0		11,1		+ 0,00	8,7		0,00
— 34 ,4	18,9	0,225	13,5	0,1218	— 0,69	10,9	0,1058	— 1,04
— 23 ,3	23,9	0,204	19,4	0,1248	— 1,89	16,1	0,1130	— 2,62
— 12 ,2	31,7	0,182	26,8	0,1285	— 2,87	22,9	0,1171	— 3,92
— 6 ,7	36,8	0,173	30,7	0,1317	— 3,17	26,8	0,1191	— 4,44
— 1 ,1	42,5	0,169	37,2	0,1200	— 3,82	31,1	0,1217	— 4,88

Bei der Kohlensäure und dem Stickstoffoxydul wachsen die Werthe von z in stetiger Weise mit der Temperatur wie beim Wasserdampf; nur scheinen sie etwas gröſser zu seyn, allein die Unterschiede haben nichts Ungewöhnliches. Es scheint demnach, daſs die in diesen Dämpfen enthaltenen Wärmemengen ebenfalls regelmäſsig entweder wachsen oder abnehmen; sie werden wachsende seyn, wenn man z unterhalb der unteren Gränze nehmen muſs, und abnehmende im umgekehrten Falle. Zur Entscheidung zwischen diesen beiden Fällen stehen hier nicht die latenten Wärmen zu Hülfe, allein wir haben ein anderes weit genaueres Datum. Durch die akustischen Versuche von Dulong ist der Capacitätscoëfficient dieser Gase direct bestimmt worden; es ist bei der Kohlensäure $k = 1,339$ und beim Stickstoffoxydul $k = 1,343$, mithin $z = 0,253$ und $z = 0,255$.

Es ist also die obere Gränze, die man wählen muſs, und daraus ergiebt sich die sehr bemerkenswerthe Folgerung, daſs die zwei in Rede stehenden Dämpfe von abnehmenden Wärmemengen sind. Während also 1 Kilogramm Wasserdampf im Maximo der Spannung desto gröſsere Wärmemengen enthält, je höher die Temperatur ist, hält umgekehrt 1 Kilogramm Kohlensäuredampf oder Stickstoffoxyduldampf desto mehr Wärme, je niedriger die Temperatur ist.

Digitized by Google

Es giebt folglich zwei Klassen von Dämpfen; eine mit wachsender Wärme und eine mit abnehmender. Wasserdampf ist der Typus der ersten, Kohlensäuredampf der der zweiten.

Da man den Capacitätscoëfficient und die specifische Wärme der Kohlensäure und des Stickstoffoxyduls in Bezug auf Wasser kennt, so ist es möglich, die Zahl von Wärmeeinheiten zu berechnen, welche durch Erkaltung gewonnen oder durch Erwärmung verloren werden. Das Resultat dieser Rechnung ist in der Spalte $q - q_{,}$ angegeben; man sieht daraus, daſs der Kohlensäuredampf, wenn er von — 40° C. bis — 67°,8 C. erkaltet, 6,76 Wärmeeinheiten gewinnen muſs, und daſs er umgekehrt, wenn er sich von — 40° C. bis — 1°,1 C. erwärmt, 3,82 Einheiten verlieren muſs. Beim Stickstoffoxydul sind die Gewinne und Verlüste an Wärme etwas beträchtlicher.

Ehe wir diese beiden Körper verlassen, müssen wir in Erinnerung bringen, was wir vorhin in allgemeiner Weise gesagt haben, daſs nämlich die latenten Wärmen mit sinkender Temperatur bedeutend zunehmen, und umgekehrt mit steigender sehr rasch abnehmen müssen.

Auf den ersten Blick würde man zu glauben geneigt seyn, daſs das von Hrn. Cagniard-Delatour beobachtete Phänomen des Verschwindens der Flüssigkeiten mit der Bewegung der latenten Wärmen verknüpft sey, und daſs es eintrete, wenn die latente Wärme Null werde. Dieser Schluſs scheint mir aber voreilig; um hierüber eine bestimmte Meinung zu fassen, müſste man wissen, wie die Flüssigkeiten bei hohen Temperaturen und so starken Drucken ihre Wärmecapacitäten verändern.

8. Das ölbildende Gas zeigt zwei ungewöhnliche Anomalien: 1) die aus der Bedingungsgleichung gezogenen Werthe von z nehmen ab mit steigender Temperatur: 2) sind die einen gröſser und die anderen kleiner als 0,193, welcher sich aus den von Dulong für das ölbildende Gas gelieferten Capacitätscoëfficienten ergiebt.

Digitized by Google

Die Theorie würde hier höchst mangelhaft seyn. Allein was ist ölbildendes Gas? War das, welches Dulong ertönen lieſs, identisch mit dem, welches Faraday der Zusammendrückung unterwarf? Dieſs ist zweifelhaft, denn es giebt vielleicht keinen Körper, dessen Identität schwieriger zu erweisen wäre, wie dieser. Dulong wuſste dieſs wohl, und Hr. Faraday hat auch bei Portionen dieses Gases, die ganz einerlei zu seyn schienen, unerklärliche Verschiedenheiten in der Spannkraft bemerkt. Ueberdieſs sagt Hr. Faraday selber zuletzt, daſs die Drucke, welche den niedrigen Temperaturen entsprechen, zu stark sind, als daſs man das Vorhandensein eines einzigen Körpers zugeben könnte. Ich bin daher zu glauben geneigt, daſs die seltsamen und so widersprechenden Zahlen, welche das ölbildende Gas zeigt, keinen ernstlichen Einwurf gegen die theoretischen Formeln abgeben.

Es ist nur zu vermuthen, entweder, daſs das Gas wirklich aus zwei verschiedenen Gasen bestehe, wie Hr. Faraday schon geäuſsert hat, oder wenigstens, daſs der Druck isomere Flüssigkeiten bilde, deren Dämpfe nicht mehr identisch mit dem ursprünglichen sind.

9. Die folgende Tafel enthält die Resultate der Rechnung für das Chlorwasserstoff-, Schwefelwasserstoff- und Arsenwasserstoffgas, dabei $t_{,} = -40°$ C. genommen.

Temperaturen.	Chlorwasserstoff.		Schwefelwasserstoff.		Arsenwasserstoff.	
	p.	z.	p.	z.	p.	z.
— 73°,3	1,8	0,107	1,0	0,145		
— 67 ,8	2,4	0,109	1,2	0,144		
— 62 ,2	3,1	0,111	1,3	0,125		
— 56 ,7	4,0	0,115	1,6	0,126	1,1	0,101
— 51 ,1	5,1	0,118	1,9	0,115	1,4	0,098
— 45 ,5	6,3	0,120	2,4	0,127	1,8	0,098
— 40 ,0	7,7		2,9		2,3	
— 34 ,4	9,2	0,134	3,5	0,127	2,8	0,121
— 23 ,3	12,8	0,121	5,1	0,109	4,3	0,095
— 17 ,8	15,0	0,137	6,1	0,123	5,2	0,112
— 12 ,2	17,7	0,136	7,2	0,125	6,2	0,114
— 1 ,1	25,3	0,130	9,9	0,126	8,7	0,116
+ 4 ,4	30,7	0,125	11,8	0,125	10,0	0,119

Da die Intervalle hier näher zusammenliegen, so darf man sich nicht wundern, daſs diese Gase keine so vollständige Regelmäſsigkeit zeigen, wie die früheren. Beim Chlorwasserstoff und Arsenwasserstoff sind die Werthe von z offenbar wachsende mit der Temperatur; allein das Schwefelwasserstoff zeigt zu groſse Anomalien, als daſs man einen sicheren Schluſs ziehen könnte.

Die Capacitätscoëfficienten und die latenten Wärmen dieser drei Gase fehlen uns, um zu entscheiden, welche Gränze man für z zu wählen habe, und zu welcher Klasse also diese Dämpfe gehören.

Beim schwefligsaurem Gase, beim Cyan- und Ammoniakgas scheinen mir die Temperaturintervalle und besonders die Druckintervalle, welche die bisherigen Versuche umfassen, zu beschränkt, als daſs es möglich wäre, sie unter diesem Gesichtspunkt zu benutzen; indeſs haben die Werthe von z einen regelmäſsigen Gang und sind den vorstehenden sehr analog.

10. Angenommen die Dämpfe seyen in für die Wärme undurchdringlichen Gefäſsen enthalten, so verhalten sie sich, der Ausdehnung oder Zusammendrückung unterworfen, sehr verschieden, je nachdem sie zu dem einen oder zu dem andern Typus gehören, d. h. je nachdem sie von zu- oder abnehmender Wärme sind.

Da der Wasserdampf beim Spannungsmaximo desto weniger Wärme enthält, je niedriger die Temperatur ist, so folgt, daſs derselbe, wenn man von ihm z. B. 1 Kilogramm von 100° C. unter dem Druck von $0^{mm},760$, das bekanntlich ein Volum von 1700 Litern einnimmt, sich, ohne Gewinn oder Verlust an Wärme, in einen viel gröſseren Raum, z. B. 10 oder 100 Cubikmeter, ausdehnen läſst, dann, wegen Abnahme der Wärmecapacität, eine geringere Temperatur und eine geringere Spannkraft besitzt, aber er wird nun nicht mehr auf dem Maximo der Spannkraft seyn; denn da er in diesem neuen Zustand all die Wärme besitzt, welche er bei 100° beſaſs, so beträgt die-

Digitized by Google

selbe mehr als er bedarf, um bei dieser niederen Temperatur auf dem Spannungsmaximo zu seyn. Er wird also ein überhitzter Dampf seyn, der bei demselben Volum erkaltet werden muſs, um auf den Sättigungspunkt zu gelangen.

Geht man von demselben Punkt, nämlich 100°, aus und comprimirt den Dampf bis auf ein Zehntel oder Hundertel des Volums, so steigt die Temperatur mit dem Druck, aber der Raum hört keinen Augenblick auf, gesättigt oder vielmehr übersättigt zu seyn; denn da der Dampf bei den kleineren Volumen und den höheren Temperaturen nur die ursprüngliche Wärme bei 100° C. besitzt, welche dann unzulänglich wird, so müssen sich immerfort gröſsere Portionen des Dampfes liqueficiren, um durch ihre latente Wärme dem rückständigen Dampfe den nöthigen Ersatz zu liefern.

Die Dämpfe vom Typus des Wasserdampfs werden also durch Ausdehnung nicht condensirt, wohl aber durch Zusammendrückung. Dagegen werden die Dämpfe vom Typus der Kohlensäure durch Ausdehnung condensirt, und nicht durch Zusammendrückung.

Diese Betrachtungen, analytisch ausgedrückt, geben die Gränzen für die Wärmemengen, welche die Dämpfe verlieren können.

Man dehne Wasserdampf aus, von $t_{,}=100°$ und $p_{,}=1$ Atmosph. an gerechnet; seine Temperatur werde t', sein Druck p' und seine Wärmecapacität c'.

Weil der Dampf keine Condensation erfährt und sich wie ein Gas verhält, sind t', p' und c' verknüpft durch die Bedingungsgleichungen:

$$\frac{a+t'}{a+t_{,}} \cdot \left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z} = 1\,; \qquad c' = c_{,}\left(\frac{p_{,}}{p}\right)^{z}.$$

Gesetzt nun, es erkalte bei diesem Ausdehnungszustand der Dampf, bei demselben Volum, bis er auf sein Spannungsmaximum p und die entsprechende Temperatur t gelangt; dann hat man:

$$q - q_i = c_i(a+t_i)\left[\frac{a+t}{a+t_i}\cdot\left(\frac{p_i}{p}\right)^z - 1\right].$$

Die Capacität bei constantem Volum ist $\frac{c'}{k}$, und die verlorne Wärmemenge beträgt $\frac{c'}{k}(t'-t)$, welche gleich $-(q-q_i)$ seyn muſs.

Allein die beiden obigen Bedingungsgleichungen geben:

$$\frac{c'}{k}(t'-t) = \frac{c'}{k}(a+t_i)\left[1 - \frac{a+t}{a+t_i}\cdot\left(\frac{p_i}{p}\right)^z\right].$$

Dieser Werth, combinirt mit dem von $q-q_i$, führt zu:

$$\left(\frac{p}{p'}\right)^z = k - \left(\frac{k-1}{y}\right), \quad \text{mit } y = \frac{a+t}{a+t_i}\left(\frac{p_i}{p}\right)^z.$$

Die Spannkraft p ist, wie gesagt, immer kleiner als p': es muſs indeſs $\left(\frac{p}{p'}\right)^z > 0$ seyn, woraus folgt $y > z$.

Also für $t < t_i$ sind die Werthe von y kleiner als eins; aber z ist eine untere Gränze, unterhalb welcher y nicht hinabsinken kann.

Folglich kann 1 Kilogramm Wasserdampf nicht existiren, wenigstens wenn der Unterschied zwischen der Wärmemenge des Dampfes von 100° und der seinigen nicht kleiner ist als $c_i(372)(1-z)$ oder $c_i \times 334$, dabei $z = 0{,}02$ genommen; dieſs giebt 284 Einheiten, wenn man die von De la Roche und Bérard gefundene specifische Wärme des Wasserdampfs annimmt. Anders gesagt: das Kilogramm Wasserdampf im Maximo der Spannung, welches die möglichst wenige Wärme enthält, würde davon nicht 284 Einheiten weniger enthalten als das Kilogramm Wasserdampf bei 100°; aber umgekehrt das Kilogramm Wasserdampf, welches die meiste Wärmemenge enthält, könnte davon stets wachsende Mengen enthalten, weil nichts für y eine obere Gränze ergiebt.

(Schluſs dieses Aufsatzes S. VIII des Inhalts.)

Digitized by Google

V. *Bemerkungen über die Temperatur des Weltmeers in verschiedenen Tiefen; von E. Lenz.*

(Aus den *Bullet. phys.-mathém.* der St. Petersb. Acad. T. V.)

Bei dem Vortrage der physikalischen Geographie an der hiesigen Universität wurde ich veranlaſst, sämmtliche Beobachtungen zu durchmustern, welche auf verschiedenen Seereisen über die Temperatur des Weltmeeres in der Tiefe angestellt worden sind. Man findet eine Zusammenstellung derselben in dem neuen Gehler'schen Lexicon, Artikel: Meer, S. 1676, wozu noch die Beobachtungen von Durville und Beechey hinzuzufügen sind, um so ziemlich Alles zusammen zu haben, was über diesen Gegenstand bekannt gemacht worden ist.

Die meisten dieser Beobachtungen, meine eigenen ausgenommen, wurden mit dem Thermometrographen angestellt und vorzüglich mit dem Six-Thermometer. Dabei ist aber zu bemerken, daſs alle Instrumente der Art einer Fehlerquelle unterworfen sind, auf welche die Beobachter bisher nicht aufmerksam geworden sind, nämlich die Zusammendrückung des Gefäſses oder der Kugel, welche die thermometrische Substanz (Weingeist) enthält, besonders bei dem ungeheuern Drucke in Tiefen von mehreren 1000 Fuſsen. Von der Wirkung des starken Druckes auf eine Thermometerkugel war ich Zeuge bei einer Reihe von Versuchen, welche Parrot anstellte, um den Einfluſs eines starken Drucks auf verschiedene Substanzen zu ermitteln, und welche er in den Memoiren der Academie (*VI. Série Sc. math. ph. et natur., T. II, p.* 595) bekannt gemacht hat. Man wird dort erwähnt finden, daſs ein Druck von 100 Atmosph. das Thermometer um 20°,5 steigen machte, ohne daſs sich die Temperatur im Geringsten geändert hätte, wie ein zweites Thermometer bewies, welches vor dem Druck durch eine Messingröhre geschützt war.

Digitized by Google

Daſs ein ähnliches scheinbares Steigen des Thermometers auch bei den Thermometergraphen stattfinden muſs, sobald dieselben dem groſsen Druck von 100 oder 200 Atmosph. ausgesetzt sind, ist wohl nicht zu bezweifeln, wenn auch die Wirkung hier weniger bedeutend seyn wird, da bei Instrumenten dieser Art die thermometrische Substanz nicht in einer angeblasenen Kugel, sondern in angelötheten röhrenartigen Gefäſsen von dickerem Glase enthalten ist. Ja es scheint, daſs bei einigen der uns vorliegenden Beobachtungen dieser Einfluſs des Druckes auf das Thermometergefäſs aus den Resultaten selbst nachzuweisen sey; namentlich ist dieses der Fall bei den von Horner auf der Krusenstern'schen Expedition angestellten Versuchen der Art. Wir besitzen von ihm, auſser mehreren vereinzelten Beobachtungen, drei Reihen, wo an einem und demselben Orte die Temperatur in verschiededenen Tiefen bestimmt wurde. Sie sind die folgenden, wo die Tiefe in Pariser Fuſsen, die Temperatur aber in Centesimalgraden angegeben ist.

Tiefe.	Temperatur.	Tiefe.	Temperatur.	Tiefe.	Temperatur.
180	21,6	90	21,2	84	7,0
540	18,2	180	20,3	96	2,5
600	18,0	378	18,7	108	— 0,2
720	18,0	840	16,6	126	— 1,5
		1020	16,6	180	— 1,7
		1200	16,6	360	— 1,7
				660	— 1,7
				680	— 1,7

Bei allen drei Reihen sieht man, daſs die Temperatur in den Tiefen constant wird; wenn dieses auch in der dritten Reihe vielleicht wirklich der Fall war, da die dort beobachteten niedrigen Temperaturen einen ganz exceptionellen Fall ausmachen und von keinem andern Beobachter in dieser Breite von 53° gefunden worden sind, also auch nicht an ihnen controlirt werden können, so darf bei den beiden übrigen Reihen dieses Gleichbleiben, welches in der ersten von 600, in der zweiten von 800

Digitized by Google

Fuſs beginnt, doch auf keinen Fall als naturgemäſs zugestanden werden, da sämmtliche anderweitige Beobachter in diesen Tiefen noch eine entschiedene Abnahme der Temperatur fanden. Es ist hier vielmehr sehr wahrscheinlich, daſs die nicht sehr bedeutende Abnahme durch das scheinbare Steigen des Thermometers in Folge des Drucks compensirt wurde.

Ganz aus ähnlichem Grunde scheint mir auch das Instrument, welches Capt. Beechey bei seinen zahlreichen Versuchen benutzt hat, einer bedeutenden Zusammendrückung unterworfen gewesen zu seyn, denn sehr oft wird die Temperatur in gröſseren Tiefen höher als in weniger bedeutenden desselben Ortes. Auch ist bei ihm die Temperatur in Tiefen von mehr als 3000 Fuſs nie unter 5° in Breiten, wo meine Beobachtungen, die von dem Einfluſs des Drucks unabhängig waren (vergl. *Mém. de l'Acad, sc. math., phys. et nat., T. I*)[1]), da das Thermometer die Temperatur der heraufgeholten Wassermasse nach Aufhebung des Drucks oben auf dem Schiff angab, in diesen Tiefen eine Temperatur von 2° bis 3° anzeigten. Indessen kommen bei Beechey Unregelmäſsigkeiten vor, welche man aus einer Fehlerquelle herleiten kann, die in der Construction des Thermometers selbst zu suchen ist. Bekanntlich wird bei den Thermometrographen von Six ein Eisenstift in der Thermometerröhre durch eine nach auſsen drückende Spiralfeder in jeder beliebigen Höhe schwebend erhalten, während dieser Index beim Steigen der Quecksilbersäule in dieselbe eintaucht und durch sie gehoben wird, sobald das Gewicht des verdrängten Quecksilbers, vereint mit der Capillaritätswirkung desselben zwischen Eisen und Glasröhre, das Gewicht des Stiftes anfängt um mehr zu übertreffen, als die Reibung der Stahlfeder an der Glasröhre beträgt. Nun kann diese Reibung unmöglich in der ganzen Länge der Glasröhre als gleich angenommen werden, und folglich wird der Stift an ver-

1) S. Ann. Bd. 20, S. 73.

schiedenen Stellen der Röhre bei verschiedener Tiefe des Eintauchens ins Quecksilber anfangen sich zu heben, so daſs es ungewiſs bleibt, welchen Theil des Stifts man ansehn müsse, als denjenigen, welcher der Höhe des Quecksilbers entspricht; der hierdurch entstandene Fehler ist kein constanter, der durch eine einzige Vergleichung des Thermometrographen mit einem sonst richtigen Thermometer eliminirt werden kann. Nimmt man hierzu die Wirkung, die der nur durch Reibung schwebend erhaltene Index bei jedem stoſsweisen Heraufziehen des Seiles erleiden muſs, so sieht man wohl ein, daſs bei manchen Instrumenten der Art bedeutende Unrichtigkeiten vorkommen können. Dennoch sind solche Thermometrographen von sehr groſsem Nutzen, und der Zweck der vorhergehenden Bemerkungen ist keineswegs, ihren Gebrauch zu verdächtigen, sondern ich wünschte durch dieselben künftige Beobachter dazu zu veranlassen, ihre Instrumente der Art vor dem Gebrauch einer sorgfältigen Prüfung zu unterwerfen, und namentlich den Einfluſs des Druckes auf dieselben zu ermitteln; es ist dieses ja ohnehin die Pflicht des gewissenhaften Beobachters, er mag sich noch so vollkommen construirter Instrumente bedienen.

Wenn ich nach dem Obigen glaube, daſs die Beobachtungen mit dem Thermometrographen, besonders in gröſseren Tiefen, mehrentheils einer nicht unbedeutenden Correction bedürfen, so können dieselben doch immer mit groſsem Nutzen gebraucht werden, wenn es Resultate gilt, die durch vergleichende Beobachtungen in denselben Tiefen erhalten werden. Wenn es z. B. die Frage gilt, ob die Temperatur in gröſseren Tiefen des Meeres von der an der Oberfläche abhängig sey oder nicht, namentlich in solchen Tiefen, bis zu denen die Wärmestrahlen des Sonnenlichts nicht mehr dringen, so können wir uns zweier Beobachtungsreihen von Capitain Kotzebue bedienen, welche er auf seiner ersten Expedition auf dem „Rurik“ zu zwei verschiedenen Jahreszeiten im stillen

Digitized by Google

Ocean in der Breite von 36° N. anstellte; sie sind die folgenden:

	Länge = 148 W. September.	= 161 O. von Greenw. Juni.
Tiefe in Fuſs. = 0	Temp. = 22,1	16,1
150	13,8	13,6
600	11,5	11,5
1600	6,7	6,1

Wir sehen hieraus, daſs, obgleich die Temperatur der Oberfläche in diesen beiden Reihen von 6° variiren, die Temperaturen der Tiefe dennoch fast genau dieselben sind. Leider fand ich nicht mehr solcher Reihen, die ich auf ähnliche Weise benutzen konnte. Beechey's Beobachtungen geben kein bestimmtes Resultat, bald fiel es eben so aus wie bei den Reihen von Kotzebue, bald anders. Ich habe die Reise Beechey's nicht zur Hand, sondern nur einen Auszug derselben; ich vermuthe fast, er habe sich in den verschiedenen Jahren verschiedener Instrumente bedient, oder die geringe Uebereinstimmung der Resultate seines Instruments lassen sich aus der oben erwähnten Fehlerquelle desselben erklären.

Eine andere Frage, und zwar diejenige, welche den Hauptgegenstand dieser Bemerkungen ausmacht, ist diejenige, wie die Abnahme der Temperatur mit Zunahme der Tiefe in verschiedenen Breiten sich verhalte? Zur Beantwortung dieser Frage bedarf es einer beträchtlichen Anzahl von Beobachtungen, die an demselben Instrumente angestellt und also mit einander vergleichbar sind, und möglichst in denselben Tiefen, damit ein etwaniger Einfluſs des Druckes von keinem Einfluſs auf das Resultat sey. Diese Bedingungen werden erfüllt von einer Reihe von Beobachtungen, welche Kotzebue während seiner ersten Reise, auf dem „Rurik", vermittelst des Sixthermometers anstellte; sie sind ziemlich zahlreich und sämmtlich in Tiefen von 300 bis 500 Fuſs engl. Maaſses angestellt worden. Ich habe in nachfolgender Tafel diejenigen dieser Beobachtungen, die im atlantischen Ocean angestellt sind,

Digitized by Google

nach der geographischen Breite zusammengestellt, wobei ich sie in Gruppen von 3° zu 3° geordnet, und aus jeder dieser Gruppen das Mittel genommen habe; hierzu habe ich die Temperaturen an der Oberfläche, aber nur als Mittel aus sämmtlichen Beobachtungen einer Gruppe, gefügt:

Breite.	Tiefe in englischen Fuſsen.	Temperatur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite.		
			Tiefe.	Temperatur.	Temp. an der Oberfl.
Nördliche Halbkugel:					
48 — 45	480	11,3	458	12,0	16,3
	462	12,3			
	432	12,3			
42 — 39	438	14,7	438	14,7	17,8
39 — 36	432	15,6	418	16,2	20,1
	444	16,4			
	378	16,7			
36 — 33	444	16,8	447	16,7	22,1
	450	16,7			
33 — 30	390	15,5	390	15,5	22,2
30 — 27	366	19,0	403	18,7	23,1
	450	18,5			
27 — 24	432	20,5	432	20,5	24,4
24 — 21	468	20,8	414	20,6	24,6
	366	20,4			
21 — 18	468	20,1	468	20,1	24,5
18 — 15	432	20,2	408	19,3	25,3
	384	18,5			
15 — 12	390	14,5	390	14,5	24,6
12 — 9	390	15,2	390	15,2	26,2
9 — 6	432	14,4	400	14,4	26,5
	366	14,5			
6 — 3	414	13,3	460	14,3	27,9
	474	13,5			
	468	14,3			
	480	15,1			
	462	15,0			
3 — 0	480	14,8	435	14,5	28,6
	480	14,6			
	468	14,0			
	414	14,4			
	336	15,0			
Südliche Halbkugel.					
0 — 3	480	13,9	480	13,9	28,3
	480	13,9			
3 — 6	432	13,3	405	13,6	27,6
	378	14,0			

Digitized by Google

Breite.	Tiefe in englischen Fuſsen.	Temperatur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite. Tiefe.	Temperatur.	Temp. an der Oberfl.
Südliche Halbkugel:					
6 — 9	336 366	15,0 17,8	351	16,4	27,0
9 — 12	420 432	15,6 18,5	426	17,0	26,1
12 — 15	366 336	15,4 16,7	351	16,0	24,6
15 — 18	276 334	17,0 14,5	305	15,7	23,2
18 — 21	390 366	17,0 16,0	378	16,5	22,9
33 — 36	324 516	17,8 16,8	420	17,3	20,8

Um eine leichtere Uebersicht der durch vorstehende Tabelle gelieferten Resultate zu erhalten, thut man gut, dieselben sich graphisch darzustellen, wie solches (im Originale) für die nördliche Halbkugel geschehen ist. Die Abscissen dieser Curve stellen die Breiten, von 3° zu 3° wachsend, die Ordinaten, abwärts gemessen, aber die Tiefen von 50 zu 50 Fuſs dar; in den Tiefen, bei welchen beobachtet worden ist, giebt die beistehende Zahl die Temperatur in der angezeigten Tiefe an. Es ergiebt sich hier mit einem Blicke eine Vertheilung der Temperaturen, welche sehr merkwürdig ist. Wir finden, daſs in der Tiefe von etwa 420 Fuſs die Temperaturen von 48° bis 27° nördl. Br. wachsen, von also 12 bis 20,5 Centesimalgraden; diese letzte Temperatur von 20,5 erhält sich bis zu 20° nördl. Br., dann aber nimmt die Temperatur wieder ab und bleibt von 15° N. bis zum Aequator constant, etwa 14°,5 C. Noch mehr in die Augen springend wird diese Temperaturvertheilung, wenn man es nach bloſser Schätzung versucht, eine Linie durch diejenigen Punkte zu ziehen, in welchen die Temperatur 14,5 angenommen werden kann, wie solches auf der Tafel in der That geschehen ist. Diese Linie, die ich die *submarine Isotherme*

Digitized by Google

von 14°,5 C. nennen will, kann natürlich, ihrer wahren Krümmung nach, aus den vorliegenden Beobachtungen nicht construirt werden, allein so viel folgt doch aus ihr mit Gewiſsheit, daſs diese *submarine Isotherme* sich vom 48° nördl. Br. an in die Tiefe senkt, ihre gröſste Biegung nach unten aber zwischen 27° und 20° nördl. Br. erhält, dann näher zum Aequator sich rasch nach oben erhebt und von 15° an eine fast horizontale Richtung behält bis zum Aequator. Die leider weniger zahlreichen Beobachtungen, welche unsere Tabelle für die südliche Halbkugel angiebt, sind doch zureichend, um ein ähnliches Verhalten auch hier anzudeuten. Bis 10° südlicher Breite haben wir auch hier dieselbe Temperatur, die von dort an sich steigert, aber aus Mangel an Beobachtungen nicht weiter als bis 21° verfolgt werden kann. Man findet also in einer den Aequator einschlieſsenden Zone (von 16° N. bis 10° S.) bei weit geringeren Tiefen eine so niedrige Temperatur, als welche in den diese Zone einschlieſsenden Gewässern des atlantischen Oceans erst in bedeutend gröſseren Tiefen aufgesucht werden muſs.

Auch für den nördlichen stillen Ocean findet sich eine hinlängliche Anzahl Beobachtungen von Kotzebue, um die Gültigkeit des Satzes auch hier auſser Zweifel zu setzen, wie die nachfolgende Tabelle beweist; nur sind hier die Tiefen weniger gleichmäſsig und im Allgemeinen gröſser wie im atlantischen Ocean.

Breite.	Tiefe in englischen Fuſsen.	Temperatur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite.		
			Tiefe.	Temperatur.	Temp. an der Oberfl.
Nördliche Halbkugel:					
39 — 36	600	11,5	600	11,5	16,1
36 — 33	600 600	10,6 11,5	600	11,0	22,2
33 — 30	600	16,7	600	16,7	24,3
30 — 27	600 300	19,5 22,0	450	17,8	25,0

Digitized by Google

Breite.	Tiefe in englischen Fuſsen.	Tempe-ratur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite. Tiefe.	Tem-peratur.	Temp. an der Oberfl.
Nördliche Halbkugel:					
21 — 18	438 366	21,2 16,1	402	20,7	26,8
18 — 15	456 540	19,5 20,4	498	20,8	27,7
15 — 12	558	16,3	558	16,3	27,8
12 — 9	468 492 438 600	19,4 13,5 14,0 19,5	499	16,6	28,8
9 — 6	600	13,4	600	13,4	30,5

Auch hier ist offenbar für dieselben Tiefen die Temperatur am höchsten zwischen 21°— 15° nördl. Br., und nimmt sowohl nach Norden, als nach dem Aequator zu, immer mehr und mehr ab.

Meine eigenen Beobachtungen, zu wenig zahlreich, um sie zu ähnlichen Bestimmungen zu benutzen, widersprechen doch wenigstens dem gewonnenen Resultate nicht. Bei 3450 Fuſs Tiefe fand ich unter 7° Breite eine Temperatur von 2°,2 C., während ich in der gröſseren Tiefe von 4250 Fuſs, aber unter 21° Breite, nur 2°,9 fand.

Die Gestalt der von mir gezogenen *submarinen Isotherme* leitet uns von selbst auf die Erklärung der auf den ersten Anblick befremdenden Erscheinung:

Die bis zu einer gewissen Tiefe durch die Sonnenwärme mehr erwärmte Wassermasse der Tropen kann nicht im Gleichgewicht bleiben mit den kälteren Wassermassen der mittleren und höheren Breiten; es muſs nothwendig ein Abflieſsen des wärmeren Wassers vom Aequator zu den Polen an der Oberfläche stattfinden, und dieses oben abflieſsende Wasser muſs in der Tiefe durch einen Strom des kälteren Wassers aus höheren Breiten zum Aequator ersetzt werden, das anfangs in fast horizontaler Richtung fortflieſsen wird, unter dem Aequator aber sich von unten nach oben erheben muſs. Auf diese Weise wird auf der

Digitized by Google

nördlichen Halbkugel ein groſser senkrechter Wirbel in dem Ocean stattfinden, der oben seine Richtung vom Aequator zum Pol, unten vom Pol zum Aequator hat. Da nun diese entgegengesetzt strömenden Wassermassen sich durch ihre verschiedene Temperatur auszeichnen, so erhalten wir in der *submarinen Isotherme* eine Andeutung der Richtung des unteren Theiles dieses Wirbels. Ein ganz ähnlicher, nur in entgegengesetzter Richtung sich drehender Wirbel wird auch in der südlichen Halbkugel stattfinden, so daſs in einer den Aequator umfassenden Zone durch beide vereint das Wasser fast in der Richtung von unten nach oben strömt, und man also das kalte Wasser in weit geringeren Tiefen antrifft, als in den beiden dieser Zone im Norden und Süden zunächst liegenden Zonen, wie solches die Beobachtungen in der That ergeben.

Es liegt nicht in meinem Zwecke, hier darauf einzugehen, wie die ursprüngliche Richtung dieses Wirbels an der Oberfläche durch Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit und durch Einfluſs der Winde bedeutend abgeändert wird, so daſs das Wasser vielleicht erst nach bedeutenden Umwegen zu den Polargegenden gelangt, oder wie der untere Theil des Wirbels durch den Eintritt der Wassertheilchen in Breiten von gröſserer Rotationsgeschwindigkeit nach West abgelenkt wird; auf jeden Fall wird der letzte Einfluſs durch den Widerstand der westlichen Ufer der Oceane sehr vermindert werden, im Vergleich mit der ähnlichen Ablenkung, welche die Luftströmungen erleiden. Es genügt mir, in der Gestalt der *submarinen Isotherme* einen Beweis für die Strömung vom Pol zum Aequator in der Tiefe des Oceans geliefert zu haben. Es wäre höchst wünschenswerth, wenn künftige Seefahrer unsere Kenntniſs in diesem Punkte durch eine gröſsere Zahl von Beobachtungen mit ein und demselben Instrumente oder mit berichtigten Instrumenten mehr erweitern wollten, was mit sehr wenig Beschwerde und in sehr

kur-

Digitized by Google

kurzer Zeit geschehen kann. Wenn man sich damit begnügt, den Thermometrographen nur immer auf eine und dieselbe Tiefe von etwa 100 Faden herabzulassen, so kann diese Beobachtung in 15 Minuten beendigt werden, und man würde auf jeden Fall, bei häufiger Wiederholung derselben, besonders von 40° nördl. bis 40° südl. Br., Resultate erhalten, die weit lehrreicher für die physikalische Geographie ausfallen würden, als wie die Beobachtungen bisher angestellt wurden, wo man mehr auf die Bestimmung der Abnahme der Temperatur an ein und demselben Orte ausging, als auf vergleichende Bestimmungen verschiedener Orte.

Aus einer Strömung der unten kälteren Wassermasse von den Polen zum Aequator ergeben sich sogleich einige wichtige Folgerungen, nämlich:

1) Die überall bis auf Breiten von 60° nachgewiesene Abnahme der Temperatur mit der Zunahme der Tiefe, im Gegensatz mit der im festen Lande beobachteten Erscheinung.

2) Meine zahlreichen Bestimmungen des Salzgehaltes der Oceane haben gezeigt, dafs das Maximum des Salzgehaltes nicht auf dem Aequator stattfindet, sondern immer einige Grade nördlich und südlich vom Aequator (im atlantischen Ocean bei 23° N. und 17°,5 S.). Ich habe die Erscheinung aus der gröfseren Verdunstung in diesen Breiten zu erklären gesucht, welche aus der Mitwirkung der Passatwinde begreiflich ist, im Gegensatz zur Region der Calmen auf dem Aequator. (Vergl. *Mém. de l'Acad., sc. math., phys. et nat., T. I, p.* 507). Nach dem Obigen zweifle ich aber nicht, dafs auch der geringere Salzgehalt des in der Region der Calmen aufsteigenden Polarwassers wesentlich zu dem Phänomene beitrage.

3) Es ist eine von Humboldt, John Davy und Anderen gemachte Erfahrung, dafs das Wasser des Weltmeeres an der Oberfläche über Untiefen kälter ist, als in einiger Entfernung davon über gröfseren Tiefen. Diese

Erscheinung, deren Erklärung bisher wenig genügend gefunden wurde (Gehler's neues Lexicon, T. VI, 3, p. 1687), ist eine einfache Folgerung der Strömung des kälteren Wassers in der Tiefe vom Pol zum Aequator; wenn dieses auf ein Hinderniſs stöſst, wie eine Untiefe ein solches darbietet, so wird es längs derselben wie auf einer schiefen Ebene ansteigen und sich der Oberfläche mehr nähern; daher wird sich diese selbst abkühlen.

VI. *Ueber das Delta und die Alluvionen des Missisippi; von Charles Lyell.*

(Aus einem Vortrage in der Versammlung Brittischer Naturforscher zu Southampton, 1846. — *Report of the* 16. *Meeting of the British Associat.*)

Als Delta des Missisippi kann derjenige Theil der groſsen Alluvialebene angesehen werden, welcher unterhalb oder südwärts der Abzweigung des obersten Fluſsarmes, Namens Atchafalaya, gelegen ist. Dieſs Delta hält etwa 14000 Quadratmeilen (engl.) in Fläche und erhebt sich von wenigen Zollen bis zu zehn Fuſs über den Spiegel des Meeres. Der gröſsere Theil derselben ragt über die allgemeine Küstenlinie in den Golf von Mexico hinein. Von gleichem Charakter ist die ebene Fläche im Norden bis Cape Girardeau, am Missouri, oberhalb der Einmündung des Ohio, welche nach Hrn. Forshey ein Areal von 16000 Quadratmeilen (engl.) hat und folglich gröſser ist als das Delta. Ihre Breite von Ost nach West ist sehr verschieden, beträgt am nördlichen Ende, an der Mündung des Ohio, 50 Meilen (engl.), bei Memphis 30, an der Mündung des White River 80, und zieht sich dann südlicher, bei Grand Golf, wieder auf 33 zusammen. Das Delta und die Alluvialebene steigen von dem Meer so

Digitized by Google

langsam an, daſs ihre Höhe an der Einmündung des Ohio, etwa 800 Meilen (engl.) auf dem Fluſs, nur 200 Fuſs über den Golf von Mexico beträgt.

Hr. Lyell beschreibt zunächst die mit Schilf bedeckten Schlammbänke an der Mündung des Missisippi-Stroms und der Lootsenstation Balize, geht dann zu der Menge von Treibholz über, welche die die Bänke durchschneidenden Bayons oder Kanäle verstopft, und verbreitet sich nun weitläuftig über das schmale Vorgebirge, welches zwischen New-Orleans und Balize von dem groſsen Strom und seinen Bänken gebildet wird. Das Vorrücken dieser sonderbaren Landzunge ist gewöhnlich als sehr rasch geschildert worden; allein Hr. Lyell und der ihn begleitende Dr. Carpenter sind zu einem entgegengesetzten Schluſs gelangt. Nach dem Vergleiche des jetzigen Zustands dieser Gegend mit der vor 180 Jahren von Charlevoix veröffentlichten Karte zweifeln sie, ob das Land im Ganzen mehr als eine Meile (engl.) innerhalb eines Jahrhunderts zugenommen habe.

Eine groſse, 18 Fuſs tiefe Grube, welche für die Gasanstalt in New-Orleans gemacht worden und an welcher im März 1846 noch gearbeitet wurde, zeigt viel des dortigen Bodens als bestehend aus feinem Thon oder Schlamm, mit unzähligen Baumstümpfen darin, die in aufrechter Stellung mit daran sitzenden Wurzeln in verschiedenen Niveaux verschüttet worden sind, zum Beweise, daſs früher Süſswassermoräste, bedeckt mit Bäumen, daselbst vorhanden waren, und der Missisippi bei Ueberschwemmung sein Sediment darüber ausbreitete, so daſs der Boden allmälig gehoben wurde. Da die Grube gegenwärtig etwa neun Fuſs über dem Meere liegt, so zeigt der tiefste dieser aufrechten Bäume, daſs der Boden, wo sie wuchsen, etwa neun Fuſs unter dem Meeresspiegel liegt. Auch zeigen entblöſste Stellen der lothrechten Bänke am Missisippi bei niedrigem Wasser, auf mehr als hundert Meilen vom Kopf des Deltas, vergrabene Baumstümpfe mit ihren Wurzeln

Digitized by Google

in aufrechter Stellung; wobei man hin und wieder drei Reihen über einander sieht, zum Beweise, daſs der Fluſs bei seiner Wendung sich durch alte, mit Waldungen bedeckte Moräste, wo allmälig Alluvionen angehäuft wurden, Bahn gebrochen hat. Das alte verlassene Bett des Stroms, mit seinen oft funfzehn Fuſs über den niedrigen Grund der Nachbarschaft aufsteigenden Bänken, bezeugt auch das häufige Verschieben des Hauptstroms; und derselbe Schluſs ergiebt sich auch aus den hie und da vorkommenden sichelförmigen Seen, von vielen Meilen in Länge und einer halben Meile und darüber in Breite, welche einst groſse Krümmungen des Flusses gebildet haben, jetzt aber oft sehr weit von ihm liegen.

Durch das fortwährende Unterwaschen seiner Böschungen hindert der Missisippi das Entstehen groſser Handelsstädte an seinen Ufern; es ist ein sonderbarer Contrast zwischen dem Luxus und der Eleganz von mehr als achthundert schönen Dampfschiffen, von denen einige in Wahrheit schwimmende Paläste genannt werden dürfen, und der flachen, monotonen Wildniſs des ungelichteten Landes, welches sich zu beiden Seiten des groſsen schiffbaren Stroms auf Hunderte von Meilen ausbreitet.

Hr. Lyell besuchte im März 1846 die Gegend, welche im Jahre 1811—12 drei Monate lang durch das Erdbeben von New-Madrid erschüttert wurde. Ein Theil derselben, in den Staaten Missouri und Arkansas gelegen, heiſst jetzt „*the sunk country*". Es erstreckt sich etwa 70 Meilen (engl.) von Nord nach Süd, und 30 von Ost nach West, und ist meistentheils überschwemmt. Viele abgestorbene Bäume stehen noch aufrecht in dem Morast: eine weit gröſsere Zahl liegt darniedergestreckt. Selbst auf dem trocknen Grunde in der Nachbarschaft sind alle Waldbäume, die von vor 1811 herstammen, ohne Laub. Man vermuthet, sie seyen abgestorben, indem durch die wiederholten Erdstöſse von 1811—12 ihre Wurzeln lose wurden. Man sieht auch zahlreiche Spalten in dem Boden,

Digitized by Google

wo er sich 1811 öffnete; und viele Senklöcher oder Höhlungen, von 10 bis 30 Ellen Weite und zwanzig Fuſs oder mehr in Tiefe, unterbrechen nun das allgemeine Niveau der Ebene, welche durch das Hervorquellen groſser Massen von Sand und Schlamm während des Erdbebens gebildet wurde.

Zur Berechnung des Minimums der Zeit, welche zur Anhäufung der Alluvialmassen im Delta und Thale des Missisippi erforderlich war, stützt sich Hr. Lyell auf eine von Dr. Riddell zu New-Orleans gemachte Reihe von Versuchen, welche zeigt, daſs das mittlere jährliche Verhältniſs des Sediments im Strom zum Wasser, dem Gewicht nach $\frac{1}{1245}$, oder dem Volume nach etwa $\frac{1}{3000}$ ist. Aus den Beobachtungen desselben Herrn, denen des Dr. Carpenter und des Hrn. Forshey, eines ausgezeichneten Ingenieurs in Louisiana, wurde die mittlere Breite, Tiefe und Geschwindigkeit des Missisippi bestimmt, und daraus der mittlere jährliche Wasserabfluſs hergeleitet.

In der Annahme, die Dicke der Schlamm- und Sandablagerungen im Delta betrage 528 Fuſs (ein Zehntel einer engl. Meile), folgert er für den Golf von Mexico zwischen dem südlichsten Punkt von Florida und Balize eine mittlere Tiefe von 100 Faden. Da das Areal des Deltas etwa 14000 Quadr.-Meil., und die Masse der jährlich durch den Strom herabgeschwemmten festen Massen 3 702 758 400 Cubikfuſs beträgt, so müssen auf die Bildung des Ganzen 67000 Jahre verstrichen seyn; und wenn die Alluvionen in der oberen Ebene nur 264 Fuſs tief sind, d. h. halb so tief wie im Delta, so waren zu deren Anhäufung 33500 Jahre erforderlich, selbst wenn deren Areal nur als von gleicher Gröſse mit dem des Delta angenommen wird, während es in der That gröſser ist. Bringt man von der oben angenommenen Zeit etwas in Abzug für den Effect des Treibholzes, das mit dazu beigetragen haben muſs, jenen Raum auszufüllen, so muſs man andrerseits auch eine Zugabe einräumen für den Verlust an Materie, dadurch bewirkt,

Digitized by Google

daſs die ſeineren Schlammtheilchen nicht an der Mündung des Stroms abgelagert, sondern in die See geschwemmt, ja selbst durch den Golfstrom ins atlantische Meer geführt wurden. Indeſs die ganze Periode, während welcher der Missisippi seine erdige Bürde in den Ocean schaffte, obwohl sie vielleicht über 100000 Jahre beträgt, muſs unter geologischem Gesichtspunkt als unbedeutend erscheinen, da die das groſse Thal einfassenden (und deshalb von älterer Bildung datirenden) Abhänge (*bluffs or cliffs*), welche 50 bis 250 Fuſs senkrechte Höhe haben, gröſsten Theils aus Lehm besteht, der Land-, Fluſs- und Sumpfmuscheln von noch dasselbe Land bewohnenden Species enthält.

VII. *Ungewöhnliches Wallen des Ontario-See's; vom Prof. C. Dewey zu Rochester, New-York.*

(*Silliman's Journ. Ser. II, Vol. II, p.* 85.)

Am 20. September 1845 erlebte man am Ontario-See eine auffallende Erscheinung. Des Vormittags nämlich floſs das Wasser in Masse aus den Flüssen, Buchten, Häfen u. s. w., so daſs es an verschiedenen Punkten zu verschiedenen Tiefen sank, kehrte darauf nach 10 bis 12 Minuten zurück und stieg zu einem höheren Niveau als es zuvor besaſs. Diese Oscillation oder Ebbe und Fluth wiederholte sich mehrmals in Intervallen von 8 bis 12 Minuten. An der Mündung des Genesee-Flusses, sieben Meilen (engl.) von dieser Stadt (Rochester), fiel das Wasser zwei Fuſs unter sein Niveau, und stieg bald weit darüber. An mehren Orten längs den benachbarten Ufern wurden Boote auf einige Augenblicke auſs Trockne gesetzt. Zu Oswego, siebenzig Meilen östlich von hier, wurde eine groſse Masse Holz (*logs*) in den See geführt,

Digitized by Google

zum groſsen Schreck des Eigenthümers, der es jedoch bald nach seinem früheren Ort zurückkehren sah. Zu Cobourg, etwas westlich vom Genesee, und an der Canadischen Seite des See's, in einer Entfernung von ungefähr sechszig Meilen (engl.), beobachtete man ebenfalls ein wiederholtes Fallen und Steigen, am stärksten etwas vor Sonnenuntergang, wo das Wasser auf seinen höchsten Punkt oder etwa zwei Fuſs stieg. Beim Abfliefsen wurde die Küste an vielen Stellen auf einige Minuten trocken gelegt. Bei Port Hope, einige Meilen westlich von Cobourg, gerieth das Dampfboot *Princeſs Royal*, beim Versuch in den Hafen einzulaufen, auf den Grund; so sehr war dort das Wasser gefallen.

Die Ursache dieser Erscheinung ist ohne Zweifel in dem Tornado zu suchen, der am Nachmittage über den See hinwegstrich, zu Johnston's Creek, Grafschaft Niagara, begann, seinen Weg nordöstlich über die Grafschaft Orleans nahm, dann bei Oak Orchard Creek, 50 Meil. westlich von Rochester, den See erreichte und quer über ihn setzte. Der Tornado war in der Grafschaft Orleans etwa drei Viertelmeilen (engl.) breit und sehr zerstörend, indem er groſse Bäume ausriſs und fortführte, Häuser abdeckte und zerstörte etc. Seine Heftigkeit dauerte nur wenige Minuten, vielleicht nicht mehr als drei. Auf dem See erzeugte er Wasserhosen, begleitet von groſsem Hagel, Blitz und Donner. Das Dampfboot *Expreſs*, Capt. Mason, kam auf seiner regelmäſsigen Reise in groſse Gefahr wegen der Stürme und der Wogen. Die Kraft dieses Tornado's war wahrscheinlich hinreichend, um das Wasser von den Küsten fortzuziehen und das beobachtete Auf- und Abfluthen hervorzubringen. Solche plötzliche Veränderungen sollen schon früher an den Seen beobachtet worden seyn. Es ist wünschenswerth, Thatsachen dieser Art zu sammeln, zusammenzustellen und zu veröffentlichen, da sie verhüten, Erdbeben zu Hülfe zu nehmen, und durch sie den Boden der Seen heben oder das Ni-

Digitized by Google

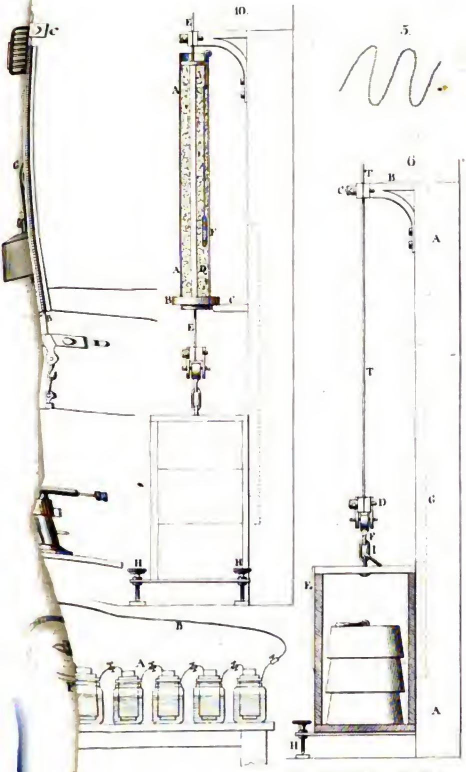
veau der Küsten verändern zu lassen, wovon keine Spur vorhanden ist. Wie es scheint, hat dieser Tornado sich nicht sehr rasch bewegt, sondern seine Gewalt war durch die groſse rotatorische Geschwindigkeit erlangt, da er Bäume abdrehte, sie mehr abbrach als umwarf. Ein alter Wagen ward in die Luft gehoben und eine bedeutende Strecke fortgeführt. Ein Scheitholz, woran acht Mann zu tragen hatten, ward funfzig Ruthen weit fortgeführt.

In einer zweiten Notiz theilt Hr. Dewey noch die Thatsache mit, daſs der *Ontario-See*, der *Erie-* und *Michigan-See* (vermuthlich auch der *Oberen-See*) im Sommer und Herbste 1845, so wie im Frühjahr 1846, einen um mehre Fuſs niedrigeren Wasserstand hatten als gewöhnlich; er leitet dieſs davon her, daſs im Jahre 1845 mehr als sechs Monate lang in allen jenen Gegenden eine ungewöhnliche Trockenheit herrschte, zur Zeit als es in den westlichen Theilen Europas häufig regnete.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin.

Digitized by Google

Taf. I.



Digitized by Google

ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

ERGÄNZUNGSBAND III.

Digitized by Google

ANNALEN
DER
PHYSIK
UND
CHEMIE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

ERGÄNZUNGSBAND III.

(NACH BAND LXXXVII EINZUSCHALTEN.)

NEBST FÜNF KUPFERTAFELN.

LEIPZIG, 1853.
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Digitized by Google

Inhalt

des Ergänzungsbandes III der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

Seite

I. Zwei und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von **Michael Faraday**. 1

§. 28. Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper, und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform.

II. Fortsetzung der zwei und zwanzigsten Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von **M. Faraday**. 28

§. 28. (Fortsetzung.) Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper, und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform.

III. Vier und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von **M. Faraday**. 64

§. 30. Ueber den möglichen Zusammenhang der Schwerkraft mit der Elektricität.

IV. Fünf und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von **M. Faraday**. 73

§. 31. Ueber den magnetischen und diamagnetischen Zustand der Körper.

V. Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von **M. Faraday**. 108

§. 32. Magnetisches Leitvermögen S. 108. — §. 33. Atmosphärischer Magnetismus S. 130.

VI. Bemerkungen über einige physische Eigenschaften der Körper; von **J. A. Groshans**. 146

VII. Versuche über die thermo-elektrische Kraft des krystallisirten Wismuths und Antimons; von **J. Svanberg**. 153

VIII. Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in Eisen; von **Wertheim** und **Breguet**. 157

IX. Aeltere Beobachtungen über den Gang des Pendels, gemacht von den Mitgliedern der *Accademia del Cimento*. 159

Digitized by Google

Zweites Stück.

Seite

I. Ueber den Humit und den Olivin des Monte Somma; von Arcangelo Scacchi. 161

II. Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday. 187
(Atmosphärischer Magnetismus. — Schluſs.)

III. Ueber die Reflexion an der Oberfläche durchsichtiger Körper; von J. Jamin. 232

IV. Ueber die Reflexion an der Oberfläche von Flüssigkeiten; von Demselben. 269

V. Beiträge zur Analyse einiger Metalllegirungen; von C. Brunner. 289

VI. Ueber die Anwendung der Sirene und des akustischen Flugrädchens zur Bestimmung des Spannungsgrades der Wasserdämpfe und der comprimirten Luft; von Ch. Doppler. 300

VII. Ueber die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum, wie sie sich dem unbewaffneten Auge zeigen; von O. J. Broch. . . . 311

VIII. Methode zur genauen Bestimmung der Lufttemperatur; von E. Liais. 316

IX. Ueber ein neues Scalenoëder des Eisenglanzes; von N. v. Kockcharow. 320

Drittes Stück.

I. Bemerkungen über das absolute Gewicht der atmosphärischen Luft in Berlin, so wie über die Vergleichung der preuſsischen Maaſse und Gewichte mit dem französischen und englischen; von W. Lasch. 321

II. Beobachtungen über die Elasticität der Metalle, angestellt von A. W. Napiersky 351

III. Ueber die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes in Telegraphendrähten; von B. A. Gould, jun. 374

IV. Ueber die Polarisation der Wärme durch einfache Refraction; von F. de la Provostaye und P. Desains. 411

V. Ueber die Reflexion der Wärme; von Demselben. 429

VI. Notiz über die Geschwindigkeit des Schalls in Stäben; von W. Wertheim 438

VII. Ueber eine Beziehung zwischen der Farbe gewisser Flammen und den durch das Licht gefärbten heliographischen Bildern; von Niepce-de-Saint-Victor. 442

VIII. Ueber die Interferenzen des polarisirten Lichts; von E. Verdet. 451

IX. Ueber die Hypothesen vom Lichtäther und über einen Versuch, welcher zu beweisen scheint, daſs die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Innern der Körper fortpflanzt, durch deren Bewegung geändert wird; von H. Fizeau. 457

Digitized by Google

Seite

X. Chemische Untersuchung des Katapleiits, eines neuen Minerals von Lamö in Norwegen; von K. A. Sjögren. 465
XI. Neues Psychrometer; von H. Walferdin. 471
XII. Ein neuer Zerleger für elliptisch-polarisirtes Licht; von Stokes. 475
XIII. Notiz über den Sommit (Nephelin), Mizzonit und Mejonit; von Arcangelo Scacchi. 478
XIV. Notizen. 1. Formel für die Ausdehnung einiger Flüssigkeiten durch die Wärme; von W. J. Macquorn Rankine S. 479. — 2. Gesetz der Zusammendrückbarkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen; von Demselben S. 480.

Viertes Stück.

I. Sieben und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday. 481
Ueber den atmosphärischen Magnetismus, Fortsetzung.
II. Acht und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Demselben. 535
Ueber Magnetkraftlinien, ihren bestimmten Charakter und ihre Vertheilung im Magnet und im Raume.
III. Neun und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Demselben. 542
Ueber die Anwendung des inducirten magneto-elektrischen Stroms als ein Prüfmittel und Maaſs der magnetischen Kräfte.
IV. Ueber die Farben dicker Platten; von G. G. Stokes. . . . 546
V. Betrachtungen über einige physische Eigenschaften der Körper, von J. A. Groshans, ... 596
VI. Ueber die Höhe der Gipfel des Monte-Rosa; von Adolph und Hermann Schlagintweit. 515
VII. Versuch, die Ursache der dynamischen Thermo-Elektricität zu erklären; von A. F. Svanberg. 621
VIII. Ueber das in Schlesien am 28. Sept. d. J. (1852) sichtbare Meteor. 630
IX. Nicht-Polarisation des Nordlichts; von W. J. M. Rankine. . 632

Nachweis zu den Kupfertafeln.

Taf. I. — Faraday, Fig. 1, S. 13; Fig. 2 u. 3, S. 14 u. 15; Fig. 4, S. 36; Fig. 5, S. 42; Fig. 6, S. 56; Fig. 7, S. 69; Fig. 8, S. 78; Fig. 9, S. 79; Fig. 10, S. 81; Fig. 11, S. 90; Fig. 12, S. 91; Fig. 13, S. 92; Fig. 14, S. 95; Fig. 15, S. 99; Fig. 16 u. 17, S. 113; Fig. 18, S. 118; Fig. 19, S. 120; Fig. 20, S. 121; Fig. 21, S. 122; Fig. 22, S. 140 u. 144; Fig. 23 u. 24, S. 146; Fig. 25, S. 201; Fig. 26, S. 208; Fig. 27, S. 211; Fig. 28, S. 218; Fig. 29, S. 483; Fig. 30, S. 483; Fig. 31, S. 484; Fig. 32, S. 489.

Taf. II. — Scacchi, Fig. 1, 2 u. 3, S. 162 u. 167; Fig. 4 u. 5, S. 171; Fig. 6 u. 7, S. 173 u. 175; Fig. 8, S. 173; Fig. 9, S. 172 u. 176; Fig. 10, S. 173 u. 175; Fig. 11 u. 12, S. 185 u. 186; Fig. 13 u. 14, S. 173; Fig. 15, S. 174; Fig. 16, 17 u. 18, S. 478.

Taf. III. — Faraday, Fig. 1, S. 197; Fig. 2, S. 200. — Jamin, Fig. 3, S. 240; Fig. 4 u. 5, S. 241; Fig. 6, S. 273. — Brunner, Fig. 7, S. 300.

Taf. IV. — Napiersky, Fig. 1, S. 354; Fig. 2 u. 3, S. 353. — Broch, Fig. 4, S. 312. — Gould, Fig. 5, S. 381; Fig. 6, S. 387. — Verdet, Fig. 7, S. 454; Fig. 8, S. 456.

Taf. V. — Faraday, S. 500, 511, 516, 521 und 529.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 1.

I. *Zwei und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser aus den *Phil. Transact. f.* 1849; ein kurzer Auszug davon findet sich schon in diesen Ann. Bd. 76, S. 144 [1]). Was die früheren Abhandlungen betrifft, so giebt über die ersten achtzehn der Registerband dieser Annalen den nöthigen Nachweis; die neunzehnte steht im Bd. 68 (S. 105), die zwanzigste im Bd. 69 (S. 289) und die ein und zwanzigste im Bd. 70 (S. 24). Auch ist die drei und zwanzigste schon im Bd. 82 (S. 75 und 232) gegeben worden.)

§. 28. Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform.

2454. Manche der bei Einwirkung des Magnets auf Wismuth erhaltenen Resultate haben mich zu verschiedenen Zeiten stutzig gemacht und genöthigt, bei einer unvollständigen Erklärung stehen zu bleiben oder sie einer künftigen Untersuchung zu überlassen. Gegenwärtig habe ich diese Untersuchung wieder aufgenommen und bin dadurch zur Entdeckung der folgenden Resultate gelangt. Ich kann jedoch nicht besser auf den Gegenstand eingehen als

1) Wir überliefern diese Abhandlung hier ausführlich, ungeachtet die Arbeiten von Plücker (Ann. Bd. 72, S. 315 und 343; Bd. 76, S. 576; Bd. 77, S. 447; Bd. 78, S. 421); Plücker und Beer Bd. 81, S. 115 und Bd. 82, S. 42) und Knoblauch und Tyndall (Ann. Bd. 79, S. 233 und Bd. 81, S. 481) den Gegenstand zum Theil schon weiter geführt haben, um die Sammlung der in das Gebiet der Elektricität einschlagenden Untersuchungen des groſsen britischen Physikers den Annalen in Vollständigkeit zu erhalten. P.

Digitized by Google

durch eine kurze Beschreibung der vorkommenden Anomalien, die man nach Belieben erhalten kann.

2455. Wenn man sauberes gutes Wismuth in dem mittleren kugelförmig ausgeblasenen Theil einer offenen [1]) Glasröhre mittelst einer Weingeistlampe zum Schmelzen bringt, und es dann, durch Umwenden der Vorrichtung, in den röhrenförmigen Theil versetzt, so erhält man es leicht in langen Cylindern, die sehr blank sind und beim Zerbrechen krystallinisch erscheinen, gewöhnlich mit Spaltungsebenen in der Quere. Ich bereite sie von 0,05 bis 0,1 Zoll im Durchmesser, und wenn das Glas dünn ist, breche ich es zusammen mit dem Wismuth durch, und hebe die kleinen Cylinder in ihrer Glashülle auf.

2456. Als ich aufſs Gerathewohl einige dieser Cylinder nahm, und horizontal zwischen den Polen eines Elektromagnets (2247) aufhing, zeigten sich folgende Erscheinungen. Die ersten stellten sich axial, die zweiten aequatorial, die dritten, in einer Lage aequatorial und, wenn sie 50° bis 60° um ihre Axe gedreht wurden, schief, die vierten, unter denselben Umständen, aequatorial und axial; bei senkrechter Aufhängung stellten sie sich alle gut vibrirend um eine endliche feste Lage, welche keine Beziehung zu der Gestalt der Cylinder zu haben schien. In allen diesen Fällen war das Wismuth stark diamagnetisch (2295 etc.), indem es von einem einzelnen Magnetpol abgestoſsen ward, und zwischen zwei Magnetpolen nach jeder Seite hin aus der axialen Linie wich. Ein ähnliches Stück feinkörniges oder granulirtes Stück Wismuth erlitt unter gleichen Umständen und zur selben Zeit eine ganz regelmäſsige Einwirkung, indem es die aequatoriale Stellung annahm (2253) wie es ein bloſs diamagnetischer Körper thun muſs. Als Ursache dieser Abweichungen ergab sich zuletzt die regelmäſsig krystallinische Beschaffenheit der Metallcylinder.

I. Krystallpolarität des Wismuths.

2457. Einiges Wismuth wurde in der gewöhnlichen Weise krystallisirt, indem man es in einem sauberen eiser-

1) Wohl an einem Ende verschlossenen Glasröhre. P.

Digitized by Google

nen Löffel schmelzte, zum Theil erstarren lieſs, und das Flüssige des Inneren ausgoſs. So erhaltene Stücke wurden durch kupferne Hämmer und Werkzeuge zerschlagen, und diejenigen Krystallgruppen ausgelesen, bei denen sämmtliche Krystalle eine symmetrische Anordnung besaſsen, also wahrscheinlich in gleicher Richtung wirkten. Wenn diese Stücke irgendwo mit dem eisernen Löffel in Berührung gewesen waren, wurden sie durch Abreiben mit Sandstein und Sandpapier gereinigt. So wurden leicht Stücke von 18 bis 100 Grm. erhalten.

2458. Der zuerst angewandte Elektromagnet war der schon beschriebene (2247), versehen mit beweglichen Endstücken, die konische, runde oder flache Pole darboten. Zur leichten und gegen magnetischen Einfluſs gesicherten Aufhängung des Wismuths wurde gewöhnlich die folgende Vorrichtung gewählt. Ein einfacher Coconfaden, 12 bis 24 Zoll lang, der oben an einem passenden Gestelle hing, war unten an dem Ende eines dünnen geraden und wohl gereinigten Kupferdrahtes von 2 Zoll Länge befestigt; das untere Ende dieses Drahtes war zu einem Knöpfchen aufgewickelt und dort versehen mit einen Klümpchen Kitt aus 4 Th. weiſsem Wachs und 1 Th. Canadabalsam. Der Kitt war weich genug, um bei Druck an jede trockne Substanz zu kleben, und doch so hart, daſs er Gewichte von 300 Gran und darüber trug. Diese Vorrichtung wurde zuvörderst allein dem Magnet ausgesetzt, um zu ermitteln, ob sie keine Einwirkung von demselben erleide, denn sonst wären die Resultate nicht zuverlässig gewesen.

2459. Ein Stück von ausgelesenem Wismuth (2457) 25 Gran schwer, wurde zwischen den Polen eines Magnets aufgehängt; es bewegte sich mit groſser Freiheit. Die es bildenden Würfel saſsen, wie gewöhnlich, hauptsächlich in der zwei gegenüberliegende Ecken verbindenden Linie an einander, und diese Linie lag auch in der gröſsten Länge des Stücks. Sowie die Magnetkraft erregt ward, schwang das Wismuth stark um eine gewisse Linie, in welcher es zur Ruhe kam; aus derselben abgelenkt, kehrte es, los-

Digitized by Google

gelassen, in sie zurück, und stellte sich mit bedeutender Kraft, seiner gröſsten Länge nach, *axial.*

2460. Nun wurde ein anderes Stück von flacherer Form ausgelesen; der Magnetkraft unterworfen, stellte es sich mit gleicher Kraft und Leichtigkeit, aber, seiner gröſsten Länge nach, aequatorial; doch hatte die Linie, nach welcher die Würfel sich diametral an einander reihten, eine *axiale* Richtung. Andere Stücke von anderer Form oder durch Abreiben auf Stein in andere Formen gebracht, stellten sich alle gut ein, und nahmen zuletzt eine Lage an, die keine Beziehung zu dieser Form hatte, sondern offenbar von der krystallinischen Beschaffenheit der Substanz abhing.

2461. In allen diesen Fällen war das Wismuth diamagnetisch, ward stark von jedem Magnetpol abgestoſsen oder aus der Axiallinie geworfen, und zwar nur bei Gegegenwart der Magnetkraft. Es begab sich in eine vollkommen bestimmte Lage und kehrte, aus ihr abgelenkt, immer dahin zurück, sobald die Ablenkung nicht über 90° hinausging; dann drehte es sich weiter und nahm eine neue, gegen die frühere, diametrale Lage an, die es mit gleicher Kraft und in gleicher Weise behauptete. Diese Erscheinung war bei allen Resultaten, über die ich berichten werde, die allgemeine; ich will sie mit den Worten, diametral, diametrale Einstellung oder Lage, bezeichnen.

2462. Die Erscheinung zeigt sich auch bei einem einzelnen Magnetpol und es ist dann auffallend, zu sehen, daſs eine so diamagnetische Substanz wie Wismuth abgestoſsen wird, und sich doch zugleich mit Kraft in die axiale Lage dreht, wie es eine magnetische Kraft thun würde.

2463. Diese Wirkung auf das Wismuth ist gleich, die angewandten Magnete (2358) mögen spitz, rund oder flach seyn; deſsungeachtet hat die Gestalt der Pole einen wichtigen Einfluſs untergeordneter Art und einige Gestalten eigenen sich mehr als andere zu diesen Untersuchungen. Bei Anwendung zugespitzter Pole divergiren die Magnetkraftlinien (2149) rasch, und die Kraft nimmt nach der Mitte des Abstandes von jedem Pole hin ab. Allein bei

Anwendung flacher Pole giebt es, obwohl die Kraftlinien gekrümmt, und an und nach den Enden der Flächen hin von verschiedener Stärke sind, doch in der Mitte des magnetischen Feldes einen Raum, wo diese Linien als parallel und überall als von gleicher Stärke betrachtet werden können. Sind die Flächen der Pole quadratisch oder kreisrund, und stehen sie um etwa ein Drittel ihres Durchmessers aus einander, so hat dieser Raum von gleichförmiger Kraft eine bedeutende Ausdehnung. Bei meinem Versuche ist der centrale oder axiale Theil des Magnetfeldes merklich schwächer als der ihn umgebende Theil; allein jede Polfläche hat in der Mitte ein kleines Schraubenloch zur Befestigung anders gestalteter Enden.

2464. Nun ist es Gesetz bei der Wirkung des Wismuths als eines *diamagnetischen* Körpers, daſs es von stärkeren zu schwächeren Orten der Magnetkraft (2267. 2418) zu gehen strebt; allein als ein *magnekrystallischer* Körper ist es keinem Effect der Art unterworfen, und wird von Linien gleicher Kraft so stark wie von anderen afficirt. So scheint ein Stück amorphes Wismuth, in einem Magnetfelde von gleicher Kraft aufgehängt, seine diamagnetische Kraft gänzlich verloren zu haben, und keine andere Bewegung anzunehmen als die von der Torsion des Aufhängefadens oder von Luftströmen herrührende; allein ein Stück von regelmäſsig krystallisirtem Wismuth wird, unter gleichen Umständen, vermöge seiner magnekrystallischen Beschaffenheit, stark afficirt.

2465. Dieſs giebt einem Magnetfelde von gleichförmiger Kraft einen groſsen Werth, und wenn daher bei Ausdehnung dieser Untersuchungen auf Körper von nur geringer Krystallkraft ein vollkommen gleichförmiges Feld erfordert würde, könnte man es leicht dadurch erhalten, daſs man die Polfläche etwas convex machte, oder an den Kanten mehr oder weniger abrundete. Die erforderliche Gestalt lieſse sich durch Rechnung finden, oder in Praxis vielleicht besser durch einen kleinen Probecylinder von körnigem oder amorphem Wismuth oder von Phosphor.

Digitized by Google

2466. Hiezu mag noch bemerkt werden, daſs kleine Krystalle oder kleine Krystallmassen und zwar solche, die in ihrer allgemeinen Gestalt dem Würfel oder der Kugel nahe kommen, besser als groſse oder längliche Stücke sind, in sofern als solche Stücke, wenn Unregelmäſsigkeiten in der Stärke des Magnetfeldes vorkommen, weniger von ihnen ergriffen werden.

2467. Wenn sich ein Wismuthkrystall in einem Magnetfelde von gleichmäſsiger Stärke befindet, wird er gleich gut afficirt, er mag in der Mitte des Feldes oder einem der Magnetpole sehr nahe seyn, d. h. die Anzahl der Schwingungen scheint in gleichen Zeiten gleich zu seyn. Es erfordert indeſs viel Sorgfalt dieſs auf solche Weise auszumitteln, weil wegen des beiden Lagen instabilen Gleichgewichts in der aequatorialen Richtung, die Schwingungen in groſsen Bogen viel langsamer geschehen als die in kleinen, und es ist schwierig in verschiedenen Fällen die Bogen gleich zu halten.

2468. Das Wismuth mag in einem Felde von starker oder schwacher Magnetkraft befindlich seyn, die Magnetpole mögen dicht neben dem Stücke ruhen oder fünf, sechs und selbst zwölf Zoll aus einander gerückt seyn, das Wismuth mag in oder über oder unter der Linie des Kraftmaximums schweben, der elektrische Strom und folglich die Magnetkraft mag stark oder schwach seyn: stets erleidet das Wismuth, wenn überhaupt eine da ist, einerlei Einwirkung.

2469. Die Resultate sind insgesammt sehr verschieden von denen der diamagnetischen Action (2418), eben so wie von denen der gewöhnlichen magnetischen Action. Sie sind auch verschieden von denen, welche Plücker entdeckt und in seinen schönen Untersuchungen über den Zusammenhang der optischen Axen mit der magnetischen Action beschrieben hat, denn dort ist die Kraft aequatorial, während sie hier axial ist. So scheinen sie uns also eine neue Kraft oder Kraftform in den Körpertheilchen darzubieten, welche ich, der Bequemlichkeit halber, durch ein

Digitized by Google

neues Wort, durch: *Magnekrystallkraft* (*magnecrystallic force*) bezeichnen will.

2470. Die Richtung dieser Kraft ist, in Bezug auf das magnetische Feld, *axial* und *nicht aequatorial;* dieſs ergiebt sich aus verschiedenen Betrachtungen. Als z. B. ein Stück regelmäſsig krystallisirtes Wismuth aufgehängt ward, stellte es sich ein. Es in dieser Lage haltend, wurde der Aufhängepunkt um 90 Grad in der Aequatorialebene (2252) fortgerükt, so daſs, als es wieder frei schwebte, die Linie durch den Krystall, welche zuvor horizontal in der Aequatorial-Ebene war, jetzt vertical stand; das Stück stellte sich wiederum ein und gewöhnlich mit mehr Kraft als zuvor. Die durch den Krystall gehende, mit der Magnetaxe coïncidirende Linie, kann nun als Kraftlinie angesehen werden; und wenn die Drehung um einen Viertelkreis in der Aequatorialebene auch wie oft wiederholt wird, fährt der Krystall dennoch fort, sich mit der angenommenen Kraftlinie, und zwar mit einem Maximum der Kraft, in die Magnetaxe zu stellen. Verschiebt man nun aber den Aufhängepunkt um 90 Grad in der Ebene der Axe, d. h. nach dem Ende der angenommenen Kraftlinie hin, so daſs, wenn der Krystall wiederum frei schwebt, diese Linie vertical ist, so äuſsert der Krystall nur ein Minimum seiner eigenthümlichen Wirkung, indem er die Richtkraft fast oder ganz verloren hat und nur die gewöhnliche diamagnetische Kraft zeigt (2418).

2471. Wäre nun die Kraft aeqnatorial und polar gewesen, so würde ihr Maximum-Effect nicht durch eine Verschiebung des Aufhängepunkts um 90 Grad in der Aequatorial-, sondern durch eine gleiche Verschiebung in der Axial-Ebene hervorgebracht seyn, und eine gleiche Verschiebung nach der in der Axial-Ebene würde die Maximum-Kraft nicht gestört haben; wogegen eine einzige Verschiebung von 90° in der Aequatorial-Ebene die Kraftlinie in die Verticale gebracht, (wie beim Kalkspath in Plücker's Versuch) und die Wirkung auf ein Minimum oder auf Null reducirt hätte.

2472. Die Richtkraft so wie die Einstellung des Kry-

stalls ist also eine *axiale*. Diese Kraft hat ihren Sitz ohne Zweifel in den Theilchen des Krystalls. Sie ist eine solche, daſs der Krystall mit gleicher Leichtigkeit und Beständigkeit zwei diametrale Lagen annehmen kann, und zwischen diesen giebt es zwei aequatoriale Gleichgewichtslagen, die natürlich instabiler Natur sind. Sowohl bei diesen Erscheinungen als bei den gewöhnlichen der Krystallform ist jedes Ende der Masse oder ihrer Molecüle in allen Beziehungen dem anderen Ende gleich; und in vielen Fällen würden daher die Worte *axial* und *Axialität* bezeichnender seyn als die: *polar* und *Polarität*. Mir scheinen auch die ersteren Worte nützlicher zu seyn.

2473. Bei Versetzung des Wismuths in andere, also gezwungene Lagen bringt der Magnet, wie stark oder wie lang er auch wirken mag, keine Aenderung in dem Zustande oder der Gröſse und Richtung der Kraft desselben hervor.

2474. Es hält schwer die Lage dieser Kraft in Bezug auf den Krystall einfach zu beschreiben, obwohl es sehr leicht ist, sie experimentell zu ermitteln. Die Gestalt der Wismuthkrystalle soll die eines Würfels und die Primitivform ein Octaëder seyn; mir aber scheinen sie nicht Würfel, sondern entweder Rhomboëder oder rhombische, dem Würfel sehr nahe kommende Prismen zu seyn [1]). Meine Messungen waren sehr unvollkommen und meine Krystalle nicht regelmäſsig; allein als Durchschnitt aus mehreren Beobachtungen ergab sich die gegenseitige Neigung der Flächen zu $91\frac{1}{2}^{\circ}$ bis $88\frac{1}{2}^{\circ}$ und der Kanten einer Fläche zu $87\frac{1}{2}^{\circ}$ bis $92\frac{1}{2}^{\circ}$. Was auch die wahre Gestalt seyn möge, so ergiebt doch der bloſse Anblick, daſs die Aggregatkraft Krystalle von mehr oder weniger rhomboëdrischer Gestalt mit rhombischen Flächen zu bilden strebt; und daſs diese Krystalle, gewöhnlich in Richtungen ihrer längsten Dimensionen, zu symmetrischen Gruppen verwachsen. Nun fällt die

1) Bekanntlich ist die Rhomboëdergestalt der Wismuthkrystalle auch schon von Prof. G. Rose näher bestimmt. (S. Ann. Bd. 77 S. 143.)

Digitized by Google

Linie der *Magne*krystallkraft fast immer zusammen mit dieser Richtung, wo sie sichtbar ist.

2475. Die *Spaltungsflächen* der Wismuthkrystalle stumpfen die Ecken ab und bilden ein Octaëder; sie sind indeſs, nach meiner Erfahrung, nicht leicht zu erhalten, und nicht gleich blank und vollkommen. Ein Paar, oder häufiger noch, bloſs eine dieser Flächen ist vollkommener als die übrigen, und diese, die vollkommenste Fläche, wird an der scharfen Ecke (2474) gebildet und ist ungemein leicht zu erkennen. Wenn ein Wismuthkrystall, der viele Spaltungsflächen darbietet, im diamagnetischen Felde aufgehängt wird, so wendet sich eine dieser Flächen gegen einen der Magnetpole, und die entsprechende Fläche, falls sie vorhanden ist, gegen den andern, so daſs die Linie der Magnekrystallkraft winkelrecht ist auf dieser Fläche. Diese Fläche entspricht einer derjenigen, welche ich schon als gewöhnlich die vollkommensten beschrieben habe, und sie stumpft die scharfe Ecke des Krystalles ab.

2476. Aus der Wismuthmasse schnitt man, mittelst kupferner Werkzeuge, einen einzelnen Krystall heraus, und rieb die Stellen, wo er angesessen hatte, mit Sandpapier ab, um ihn eine Würfelgestalt zu geben; vier seiner sechs Flächen waren natürlich. Eine der Ecken, in der muthmaſslich die Linie der Magnekrystallkraft auslief, wurde abgestumpft; die Spaltungsfläche war, wie auch zu erwarten, blank und vollkommen. Als der Krystall, mit dieser Fläche vertical, im magnetischen Felde aufgehängt wurde, stellte er sich mit beträchtlicher Kraft ein, und zwar diese Fläche dem einen oder anderen Magnetpol zuwendend, so daſs die Magnekrystallaxe nun horizontal zu liegen und mit gröſster Kraft zu wirken schien. Wurde diese axiale Linie vertical, folglich die Fläche horizontal gestellt, so richtete sich der Krystall durchaus gar nicht. Als nun der Würfel nach einander an allen Ecken und Flächen aufgehängt wurde, stellte er sich mit mehr oder weniger Kraft ein, jedoch immer so, daſs die auf der Spaltungsfläche recht-

Digitized by Google

winkliche Linie (die also die Kraftlinie vorstellt) in derjenigen Vertical-Ebene lag, welche die Magnetaxe einschloſs. Wenn endlich die Spaltungsebene horizontal, also die Richtkraft vertical war, und man neigte sie ein wenig in gegebener Richtung, so lieſs sich bewirken, daſs jeder beliebige Theil des Krystalls sich gegen die Magnetpole richtete.

2477. Eine Gruppe von Wismuthkrystallen, die an ihrem Scheitel eine einzelne kleine Spaltungsfläche besaſs, gab dieselben Resultate.

2478. Bisweilen kamen Krystallgruppen (2457) vor, die nicht schienen sich in eine Lage bringen zu lassen, in welcher sie alle Richtkraft verloren, sondern die immer ein Minimum von dieser Kraft behielten. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, daſs alle diese Gruppen in der Anordnung ihrer Theile vollkommen symmetrisch gewesen seyn sollten; auffallender ist es vielmehr, daſs ihre Wirkung noch so entschieden war. Bei Wismuth und bei vielen anderen Körpern liefert vermuthlich die Magnetkraft eine wichtigere Anzeige von der wesentlich und wahrhaft krystallinischen Structur als es die Gestalt zu thun vermag.

2479. Wie schon angeführt, äuſsert sich die Magnekrystallkraft nicht durch Anziehung oder Abstoſsung, oder wenigstens bewirkt sie keine Annäherung oder Entfernung, sondern sie verleiht nur Richtung. Das Gesetz der Wirkung scheint darin zu bestehen, *daſs die Linie oder Axe der Magnekrystallkraft* (als der Resultanten der Wirkung der Molecule) *sich zu der durch den Ort des Krystalls gehenden Magnetcurve oder Magnetkraftlinie parallel oder tangential zu stellen sucht.*

2480. Ich zerbrach nun Wismuthmassen, welche geschmolzen und in gewöhnlicher Weise erstarrt waren, und wählte zu dem Versuche diejenigen Stücke aus, die mir am regelmäſsigsten krystallisirt zu seyn schienen. Es war fast unmöglich, das kleinste Stück zu nehmen, welches nicht dem Magnet gehorchte, sich mehr oder weniger leicht einstellte. Unter dünnen Platten mit vollkommenen Spaltungs-

Digitized by Google

flächen fanden sich leicht einige, die in jeder Hinsicht den Krystallen entsprachen, allein dickere Platten, eckige Stücke gaben complicirte, obwohl in Bezug auf die Gestalt einfache und regelmäſsige Resultate. Hin und wieder erwieſs sich die Spaltungsfläche, welche ich im Voraus für die auf der Kraftlinie (2475) winkelrechte gehalten hatte, nicht als solche; allein nach sorgfältigem Beobachten der Richtung der Magnekrystallkraft fand oder erhielt ich durch Spaltung immer eine ihr entsprechende Fläche, welche das zuvor beschriebene Ansehen und Kennzeichen besaſs. Wismuthplatten von 0,05 bis 0,10 Zoll in Dicke und von parallelen und ähnlichen Flächen begränzt, erwiesen sich nach dem Zerbrechen als zusammengesetzt und unregelmäſsig.

2481. Wenn eine wohl ausgelesene Wismuthplatte (die meinige war 0,3 Zoll lang und breit und etwa 0,05 Zoll dick) an der Kante im magnetischen Felde aufgehängt wird, kommt sie schwingend und ihre Seiten den Magnetpolen zuwendend, diametral zur Ruhe (2461). Mit welchem Theil der Kante sie aufgehängt seyn mag, ist doch das Resultat dasselbe. Wird sie aber horizontal so aufgehängt, daſs die Spaltungsflächen parallel sind der Ebene der Bewegung, so ist sie ganz indifferent, denn die Linie der Magnekrystallkraft ist auf der Linie der Magnetkraft senkrecht, in jeder Lage, welche sie annehmen kann.

2482. Wird aber die Platte nur um eine sehr kleine Gröſse aus dieser Lage geneigt, so richtet sie sich, und zwar mit desto mehr Kraft, je verticaler die Flächen sind (2475). Das zuvor bei einem Krystall beschriebene Phänomen (2476), kann hier mit einem Bruchstück von einer Masse erhalten werden, und jeder Theil der Kante der Platte läſst sich zur axialen Einstellung bringen, je nachdem man ihn über oder unter die Horizontalebene versetzt.

2483. Wenn man eine Anzahl solcher krystallinischer Platten mittelst des Magnets ausgelesen hat, kann man sie hernach durch Kitt (2458) zu einer Masse vereinen, welche eine vollkommen regelmäſsige magnekrystallinische Wirkung ausübt, und in dieser Beziehung den zuvor bespro-

Digitized by Google

chenen Krystallen (2459, 2468, 2476) ähnelt. In dieser Weise läſst sich auch die *diamagnetische* Wirkung des Wismuths neutralisiren, denn es ist leicht ein Prisma von gleicher Breite und Dicke aufzubauen, welches, mit der Länge vertical aufgehängt, sich gut einstellt, ohne durch die diamagnetische Wirkung gestört zu werden.

2484. Stellt man drei gleiche Platten rechtwinklich zu einander, so erhält man ein System, welches alle Richtkraft gegen den Magnet verloren hat, indem dessen Kraft in jeder Richtung neutralisirt ist. Dieſs repräsentirt also den Fall von fein krystallisirtem oder amorphem Wismuth. Dasselbe Resultat erhält man, wenn man eine ausgelesene gleichförmige Masse von Krystallen (2457) in einer Glasröhre schmelzt und wieder erstarren läſst; sobald nicht die Krystallisation groſs und deutlich ist, was selten der Fall ist, erhält man ein Stück scheinbar ohne alle Magnekrystallkraft. Ein gleiches Resultat erhält man, wenn man den Krystall zerbricht, die Stückchen oder das Pulver in eine Röhre bringt, und so das Ganze dem Magnete aussetzt.

2485. Diese Versuche mit Wismuth sind nicht schwer zu wiederholen; denn mit Ausnahme derer, die ein plötzliches Entstehen oder Verschwinden der Magnetkraft erfordern, lassen sich alle mit einem gewöhnlichen Hufeisen-Magnet wiederholen. Ein Magnet, mit dem ich Bedeutendes geleistet habe, besteht aus sieben an einander liegenden Lamellen, die, in einer Büchse mit den Polen aufwärts befestigt, zwei Magnetbacken (*magnet cheeks*) in dem Abstande von $\frac{5}{4}$ Zoll darbieten, zwischen welchen das magnetische Feld mit Kraftlinien von horizontaler Richtung erfüllt ist. Die Magnetpole müssen beide mit Papier bekleidet werden, um die Anhaftung von Eisentheilchen oder Rost zu verhüten. Der beste Ort für das Wismuth ist natürlich zwischen den Polen, nicht im Niveau mit deren Scheiteln, sondern 0",4 bis 1",0 tiefer (2463), damit man die Wirkung flacher Pole erlange. Ist es wünschenswerth die Kraftlinien zu verstärken, so kann es dadurch geschehen, daſs man ein Stück Eisen zwischen die Magnetpole bringt, und

Digitized by Google

somit, indem man diese virtuell einander nähert, die Weite des Magnetfeldes zwischen ihnen verringert.

2486. Der angewandte Magnet trägt mittelst seines Ankers 30 Pfund; allein bei Anwendung kleiner Stücke Wismuth habe ich die Wirkungen leicht mit Magneten erhalten, die nicht mehr als 7 Unzen wogen und nur 22 Unzen trugen. Die Versuche stehen also in Jedermanns Bereich.

2487. So lange der Wismuthkrystall im magnetischen Felde ist, wird er sehr deutlich und selbst stark durch die Annäherung von weichem Eisen oder einem Magnet afficirt, und zwar in folgender Weise. Stelle Fig. 1 Taf. I. die Lage der beiden Haupt-Magnetpole und ein Stück krystallisirtes Wismuth, welches, vermöge seiner Magnekrystallität, zwischen ihnen sich axial richtet, im Grundriſs vor. Legt man nun ein Stück weiches Eisen an die Backe des Pols, z. B. in *e*, und dem Wismuth nahe, wie in *a*, so wird letzteres afficirt und nähert sich dem ersteren. Wird das Eisen in ähnlicher Weise bei *f*, *g* oder *h* angebracht so bewirkt es eine gleiche Bewegung des Wismuths; die mit *b*, *c* oder *d* bezeichneten Theile nähern sich dem Eisen und scheinen angezogen zu werden. Wenn das weiche Eisen den Magnetpol nicht berührt, sondern zwischen diesem und dem Wismuth, im Ganzen in derselben Lage, gehalten wird, so erhält man dieselben Wirkungen, nur schwächer.

2488. Obwohl diese Bewegungen einen Anziehungs-Effect anzudeuten scheinen, so glaube ich doch nicht, daſs sie aus einer solchen Ursache entspringen, sondern daſs sie einfach Folgen aus dem zuvor (2479) angegebenen Gesetze sind. Die bisdahin gleichförmige Beschaffenheit des magnetischen Feldes ist durch die Gegenwart des Eisens zerstört. Magnetkraftlinien, von gröſserer Intensität als die übrigen gehen, in der abgebildeten Lage, von der Ecke *a* des Eisens aus, und, in den übrigen Lagen, von den entsprechenden Ecken, (indem sich die Gestalt des Poles nun mehr oder weniger einer konischen oder spitzen nähert);

Digitized by Google

und deshalb dreht sich der Wismuthkrystall um die Aufhängeaxe, damit er die Linie der Magnekrystallkraft parallel oder tangential zu der Resultante der durch seine Masse gehenden magnetischen Kräfte stellen könne.

2489. Wird statt der Krystallgruppe eine krystallinische Platte von Wismuth angewandt, so haben die unter ähnlichen Umständen auftretenden Erscheinungen das Ansehen einer *Abstoſsung*. Stelle Fig. 2 Taf. I. diesen Zustand der Dinge vor. Das Eisenstück, in *e* angelegt, bewirkt ein Zurückweichen des Wismuths bei *a*; ebenso in *f*, *g* *h* angelegt, veranlaſst es ein Zurückweichen desselben an den Punkten *b*, *c*, *d*; diese Erscheinungen sehen wie Abstoſsungen aus, und doch sind sie, wie ich schlieſse, nur Folgen der Bestrebung des Wismuths, gemäſs dem zuvor angegebenen Gesetz (2479), die magnekrystallische Kraftlinie parallel oder tangential zur Resultante der durch seine Masse gehenden Magnetkraft zu stellen.

2490. Ein Eisenstück von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge und 0,1 bis 0,2 Zoll Dicke wurde in der Aequatorialebene an den Rand der Wismuthplatte (Fig. 3 Taf. I.) gehalten; es änderte deren Lage nicht. Allein als das Ende *e* zu einem der Pole gedreht wurde, begann die Platte sich zu bewegen, und sie bewegte sich am meisten, wenn, wie in der Figur, das Eisen den Pol berührte. Wenn es dem *Pole N* nahe kam oder ihn berührte, drehte sich die Wismuthplatte wie es die punktirte Figur andeutet. Berührte es den Pol *S*, so war die Drehung entgegengesetzt. Wurde das Ende *e* mit dem Pol *N* in Berührung gehalten, und das andere Ende des Eisens in die Lage *m* gebracht, so wurde das Wismuth nicht afficirt; allein wenn man den Hülfspol in der einen oder anderen Weise gegen den Rand der Platte bewegte, drehte sich diese, so wie der Pol sich bewegte, immer ihre Seite demselben zugewandt strebend, offenbar durch die Tendenz der Magnekrystallaxe, sich der Resultante der durch das Wismuth gehenden Magnetkraft parallel zu stellen. Dieselben Resultate wurden unter gleichen Umständen mit dem Krystall (2487) erhalten, und entspre-

Digitized by Google

chende Resultate entstanden auch, wenn der weiche Eisenstab zwischen dem Pole *S* und dem Wismuth angebracht ward. Gleiche Resultate lieferten endlich auch die Platten von Arsenik und Antimon.

2491. Bei Anwendung eines Magnets statt des weichen Eisens werden entsprechende Resultate erhalten. Nur ist zu bemerken, dafs der Hauptmagnet, wenn er sehr kräftig ist, den Magnetismus des kleinen genäherten Magnets oft neutralisiren, ja selbst umkehren kann, und zwar (in Bezug auf äufseren Einflufs), während letzterer im magnetischen Felde ist, selbst wenn er, herausgezogen, unverändert zu seyn scheint.

2492. Als z. B. die Wismuthplatte zwischen den Backen (*cheeks*) des Hufeisenmagnets (2485) aufgehängt (Fig. 2 Taf. I.), und der Nordpol des kleinen Magnets (der Klinge eines Taschenmessers) in *a* oder *b* angebracht ward, bewirkte dieser ein Zurückweichen des ihm nahen Theils der Platte, genau aus denselben Gründen wie das weiche Eisen. Wurden die Extrapole nach *c* oder *d* versetzt, war die Wirkung schwächer als im ersten Fall, und sie bestand in einer Annäherung jenes Theils der Platte zu dem Pole. Da diese Lage des Hülfspols gewisse vom Südpol des Hufeisenmagnets ausgehende Magnetkraftlinien begränzt (*terminate*) und neutralisirt, so wird die Resultante der durch das Wismuth gehenden Kraftlinien in ihrer Richtung geändert und schiefer gegen ihren früheren Lauf gestellt, genau wie es die Bewegung des Wismuths, vermöge dessen Tendenz seine Kraftlinie jenen in ihrer neuen Lage parallel zu stellen, andeutet.

2493. Ein genäherter Südpol bewirkt Bewegungen in umgekehrter Richtung.

2494. Wenn der kleine Magnet in aequatorialer Lage mit einem Pole dem Rande der Platte genähert wird (Fig. 3 Taf. I.), so bewirkt er, da er nicht wie das Eisen neutral ist, eine Bewegung der Platte in tangentialer Richtung, entweder nach der Rechten oder Linken, je nach dem es der Süd- oder Nordpol war, fast wie es das Eisen that,

Digitized by Google

wenn, durch Neigen, das genäherte Ende ein Pol geworden (2490). Diese Erscheinung zeigt sich in noch auffallenderem Grade bei Anwendung eines Wismuthkrystalles (2487), weil, vermöge seiner Gestalt und Lage, die Magnetcurven am meisten von dem Hülfspol afficirt und daher mehr in das Wismuth eingeschlossen werden, als wenn eine Platte gebraucht wird.

2495. Unzählige Abänderungen dieser Bewegungen, scheinbare Anziehungen und Abstoſsungen oder tangentiale Einwirkungen, lassen sich nach Belieben erhalten durch Anwendung von Krystallen, deren Magnekrystallaxe ihrer Länge entspricht, oder von Platten, wo sie der Dicke nach liegt, und von permanenten oder temporären magnetischen Hülfspolen. Führt man den beweglichen Pol langsam rund um das Wismuth, von den neutralen Punkt *m* an bis zu einem anderen Neutralpunkt *n* (Fig. 3) so erhält man einen Inbegriff aller Erscheinungen, und man findet, daſs sie sich sämmtlich in dem zuvor aufgestellten allgemeinen Gesetz auflösen (2479), daſs die Magnekrystallaxe und die durch das Wismuth gehende Resultante der Magnetkraft parallel zu werden streben.

2496. Somit kann ein kleiner Krystall oder Wismuth oder Arsenik (2532) ein sehr nützlicher und wichtiger Anzeiger der Richtung der Kraftlinien in einem magnetischen Felde werden, denn während er durch seine Lage den Lauf derselben veranschaulicht, stört er sie zugleich durch seine eigene Wirkung nicht merklich.

2497. Viele dieser Bewegungen haben Aehnlichkeit und Beziehung zu denen, welche Plücker, Reich und Andere bei Einwirkung von Eisen und Magneten auf Wismuth in seinem gewöhnlichen diamagnetischen Zustande erhalten haben. Sie und Andere betrachten diese Erscheinungen als Anzeige, daſs das Wismuth, wie auch ich anfangs vermuthete (2429 etc.), in seinem diamagnetischen Zustande eine, obwohl umgekehrte, magnetische Polarität (*magnetic condition*) wie das Eisen besitze. Ich bin nicht mit allen ihren Arbeiten bekannt, aber das, was ich davon

kenne

kenne und wiederholt habe, scheint mir das einfache Resultat des früher (2267. 2418) aufgestellten Gesetzes zu seyn, nämlich, daſs diamagnetische Körper dahin streben, von Orten stärkerer Magnetkraft zu Orten schwächerer zu gehen. Sie liefern von der vermeintlichen umgekehrten Polarität des Wismuths so wenig einen neuen, noch anderen Beweis, als die früher von mir beschriebenen Fälle, die sich jenem Gesetze unterordnen.

2498. In der Voraussetzung, es möchte ein dazwischen liegendes oder umgebendes Mittel die magnekrystallische Wirkung des Wismuths und anderer Körper einigermaſsen verändern, befestigte ich die Magnetpole in einem gewissen Abstande (2 Zoll) von einander, hing in der Mitte des magnetischen Feldes einen Wismuthkrystall auf und beobachtete dessen Schwingungen und Ruhelage. Dann schob ich, ohne sonst etwas zu ändern, zwischen Pole und Krystall Schirme von Wismuth, nämlich Klötze von 2 Zoll im Quadrat und 0,75 Zoll Dicke; allein ich konnte nicht wahrnehmen, daſs durch deren Gegenwart eine Aenderung in den Erscheinungen hervorgebracht wurde.

2499. Der Wismuthkrystall (2459) wurde im Wasser zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets aufgehängt. Seine Ruhelage stimmte mit dem allgemeinen Gesetz (2479) wohl überein; fünf Umgänge des Torsionszeigers am oberen Ende des seidenen Aufhängefadens waren erforderlich, um ihn aus dieser Lage in die diametrale zu drehen. So weit ich es beobachten konnte, war derselbe Betrag von Torsionskraft zu demselben Effect erforderlich, wenn der Krystall bloſs von Luft umgeben war.

2500. Dasselbe Wismuth wurde nun in einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol (als einem magnetischen Medium) aufgehängt; die Einstellung geschah wie zuvor, anscheinend mit keiner Art von Veränderung, und, wie zuvor, waren fünf Umdrehungen des Torsionszeigers erforderlich, um den Krystall aus seiner Lage in die diametrale zu bringen.

2501. Krystalle von Wismuth mögen daher von Luft, Wasser oder Eisenvitriol-Lösung umgeben, oder zwischen dicken Wismuthmassen befindlich seyn, so üben sie doch, einer gleichen Magnetkraft unterworfen, sowohl der Natur und Richtung als dem Betrage nach, dieselbe Magnekrystallkraft aus.

2502. Es schien möglich, ja wahrscheinlich, daſs die Magnetkraft auf die Krystallisation des Wismuths und anderer Körper einwirke. Denn da die Magnetkraft auf die Masse eines Krystalls vermöge derjenigen Kraft wirkt, welche seine Theilchen besitzen und durch ihren polaren oder axialen (2472) und symmetrischen Zustand dem ganzen Krystall verleihen, und da die Ruhelage der Krystallmasse im magnetischen Felde als die des geringsten Zwanges betrachtet werden kann, so ward es wahrscheinlich genug, daſs wenn man Wismuth in flüssigem Zustande dem Einfluſs des Magnetismus aussetzte, die Theilchen desselben eine und dieselbe axiale Lage anzunehmen streben würden, die krystallinische Anordnung der Masse nach ihrer Erstarrung also dadurch in gewissem Grade bedingt seyn würde.

2503. Es wurde daher Wismuth in einer Glasröhre geschmolzen und, bis zu seinem Erstarren, in fester Lage im magnetischen Felde gehalten, dann von seiner Glashülle befreit und aufgehängt, damit es unter dem Einflusse des Magnets dieselbe Lage annehme; allein es waren keine Anzeigen von Magnekrystallkraft sichtbar. Ich hatte nicht erwartet, daſs das Ganze regelmäſsig krystallisirt seyn würde, sondern nur daſs ein *Unterschied* zwischen der einen oder anderen Richtung vorhanden wäre. Aber es zeigte sich nichts der Art, in welcher Richtung das Stück auch aufgehängt seyn mochte; und nach dem Zerbrechen fand sich eine kleinkörnige und verworrne Krystallisation nach allen Richtungen. Vielleicht erhielte man bessere Resultate, wenn man sich länger Zeit lieſse und einen permanenten Magnet anwendete. Ich hatte in Bezug auf die Krystallisation des Goldes, Silbers, Platins und überhaupt der Me-

Digitized by Google

talle und anderer Körper viele Hoffnung auf diesen Proceſs gesetzt [1]).

2504. Ich kann nicht finden, daſs Wismuthkrystalle irgend ein, sey es temporäres oder permanentes, Vermögen erlangen, welches sie mit aus dem magnetischen Felde brächten. Ich hielt Krystalle in verschiedenen Lagen im Felde der intensiven Wirkung eines kräftigen Elektromagnetes, dessen konische Pole einander sehr nahe waren, zog sie dann nach einiger Zeit heraus und prüfte sie nun sogleich an einer sehr empfindlichen astatischen Magnetnadel; allein ich konnte nicht wahrnehmen, daſs sie in Folge dieser Behandlung irgend eine besondere Wirkung ausübten.

2505. Da ein Wismuthkrystall dem Einfluſs der Magnetkraftlinien unterliegt und gehorcht (2479), so folgt, daſs er auch der Wirkung des Erdkörpers gehorchen müsse, wiewohl in sehr schwachem Grade. Ich habe einen guten Krystall an einem einfachen sehr langen Coconfaden aufgehängt und ihn durch concentrische Glasröhren möglichst gut vor Luftzug geschützt; ich glaube Anzeigen von Richtkraft beobachtet zu haben. Der Krystall hing so, daſs die Magnekrystallaxe denselben Winkel mit dem Horizont machte (etwa 70°) als die magnetische Neigung, und es schien die Axe mit dieser Neigung zusammenfallen zu wollen; jedoch erfordern die Versuche eine sorgfältige Wiederholung.

2506. Wichtiger für die Natur der polaren oder axialen Kräfte des Wismuths ist es, zu wissen, ob zwei Krystalle oder gleichförmig krystallisirte Massen von Wismuth eine Wirkung auf einander ausüben, und wenn dem so ist, welcher Natur diese Wirkung sey, in welcher Beziehung die Theile in der Mitte und an den Enden stehen, und welche Richtung die Kräfte besitzen. Ich habe hierüber viele Versuche gemacht, sowohl in als auſser dem Magnetfelde, aber nur negative Resultate erhalten. Ich wandte jedoch nur

1) Bekanntlich hat Hr. Prof. Plücker einen ähnlichen Versuch mit Erfolg angestellt.

kleine Wismuthmassen an, und meine Absicht ist die Versuche in besserer Jahreszeit auf gröſsere Massen auszudehnen, erforderlichenfalls auf solche, die in der schon beschriebenen Weise (2483) zusammengelegt sind.

2507. Kaum brauche ich wohl zu sagen, daſs ein Wismuthkrystall in einem schrauben- oder ringförmigen Draht, der von einem elekrischen Strom durchflossen wird, sich richten muſs, und zwar so, daſs seine Magnekrystallaxe der Axe der Rolle oder des Ringes parallel werde. Dieſs ist auch der Fall, wie ich experimentell gefunden.

II. Krystallpolarität des Antimons.

2508. Das Antimon ist ein magnekrystallischer Körper. Krystallische Massen desselben, auf die zuvor (2457) beschriebene Weise dargestellt, wurden durch kupferne Werkzeuge zerstückelt und dadurch einige vortreffliche Krystallgruppen erlangt; sie wogen 10 bis 20 Gran und alle ihre Krystalle schienen gleichförmig gelagert zu seyn. Die einzelnen Krystalle waren im Ganzen sehr gut und, viel häufiger als die des Wismuths, voll an den Flächen und vollständig. Ueberdieſs waren sie glänzend, von stahlgrauem oder silbrigem Ansehen, und erschienen dem Auge sicherer kubisch, als die Wismuthkrystalle, obwohl sich hier und da deutliche rhomboidale Flächen zeigten. Durch Abstumpfungen lassen sich Spaltungsflächen erhalten, und von diesen ist eine, wie beim Wismuth, glänzender und vollkommner als die übrigen.

2509. Zuvörderst wurde ermittelt, daſs alle diese Krystalle diamagnetisch waren und zwar stark.

2510. Nächstdem überzeugte ich mich, daſs sie alle, wie beim Wismuth, die magnekrystallischen Phänomene mit bedeutender Stärke zeigten; indem sie eine Kraftlinie besaſsen (2470), welche, bei senkrechter Stellung, dem Krystall eine freie Bewegung in jeder Richtung (2476) gestattete, bei horizontaler Lage aber, dem Krystall eine Richtung verlieh und zwar so, daſs er sich parallel stellte der durch ihn hingehenden Resultante der Magnetkraft (2479).

Digitized by Google

Diese Linie ging, wie beim Wismuth, von einer Ecke zu der gegenüberliegenden und war winkelrecht auf der oben erwähnten (2508) blanken Spaltungsfläche.

2511. So war denn die Wirkung des Magnets auf diese Krystalle im Allgemeinen dieselbe wie auf die Wismuthkrystalle; allein es gab auch einige Verschiedenheiten, welche eine nähere Angabe und Unterscheidung verlangen.

2512. Zunächst zeigte sich, daſs ein gewisser Krystall, bei horizontaler Lage seiner Magnekrystallaxe, nach Erregung der Magnetkraft sich nur langsam einstellte und gleichsam zur todten Ruhe kam. Wurde er aus dieser Lage rechts oder links abgelenkt, so kehrte er auf einmal, ohne Schwingungen, dahin zurück. Andere Krystalle thaten unvollkommen dasselbe, und noch andere machten vielleicht eine oder zwei Schwingungen; aber alle schienen sich wie in einer dicken Flüssigkeit zu bewegen und waren in dieser Beziehung dem Wismuth, das frei und leicht vibrirte (2459), äuſserst ungleich.

2513. Nächstdem zeigte sich keine Einstellung oder anderweitige Aeuſserung der Magnekrystallkraft, wenn die Krystalle so aufgehängt wurden, daſs ihre Magnekrystallaxe vertical war; allein es traten andere Erscheinungen auf. Denn wenn, bei erregter Magnetkraft, die Krystallmasse in Drehung versetzt ward, so blieb sie plötzlich stehen, und wurde in einer Lage festgehalten, welche, wie sich experimentell ergab, eine jede seyn konnte. Wenn sich indeſs die gröſste Länge auſserhalb der axialen oder aequatorialen Lage befand, so folgte dem Stillstand, bei Unterbrechung des elektrischen Stroms (2315), eine *rückgängige* Bewegung. Die Bewegung war niemals groſs, am gröſsten wenn die Länge der Masse etwa einen Winkel von 45° mit der Axe des Magnetfeldes machte.

2514. Bei weiterer Untersuchung ergab sich, daſs dieses Stillstehen und Zurückspringen genau von gleicher Art war wie das früher bei Kupfer und anderen Metallen beobachtete (2309), auch aus derselben Quelle entstand, nämlich daraus, daſs unter dem inductiven Einfluſs des Magnets

Digitized by Google

kreisrunde elektrische Ströme entstehen. Nun erhellt, warum vorhin die Antimonkrystalle nicht oscillirten (2512) und warum sie auch gleichsam absterbend (*with a dead set*) ihrer Ruhelage zuwanderten. Denn die durch die Bewegung erzeugten Ströme waren gerade diejenigen, welche die Bewegung zu hemmen suchten (2329)[1]). Obwohl die Magnekrystallkraft hinlänglich ist, den Krystall zu bewegen und zu richten, so ist es doch gerade die so entstandene Bewegung, welche Ströme erzeugt, die auf die Tendenz zur Bewegung rückwirken und veranlassen, daſs die Masse auf ihre Ruhelage zugeht, wie wenn sie sich in einer dicken Flüssigkeit bewegte.

2515. Nach dieser erweiterten Kenntniſs vom Stillstehen und Rückgehen des Antimons (Erscheinungen, die abhängen von seinem, im Vergleich zum Wismuth, höheren Leitvermögen im compacten krystallinischen Zustand) hat es keine Schwierigkeit die Identität der Magnekrystallkraft dieses Metalls mit der des Wismuths, so wie aller Resultate in ihren wesentlichen Charakteren, darzuthun. In vielen Stücken von Antimonkrystallen schien die Kraft geringer als im Wismuth zu seyn, doch wohl nur scheinbar, denn die eben beschriebene Wirkung der Inductionsströme sucht die magnekrystallischen Phänomene zu verstecken.

2516. Verschiedene Antimonstücke schienen auch in der Kraft, mit der sie sich einstellten, sowie in der Neigung, die Erscheinungen des Rücksprunges zu zeigen, von einander abzuweichen. Aber diese Unterschiede sind nur scheinbar oder lassen sich leicht erklären; die Effecte des Stillstehens und Zurückgehens hängen sehr von der Continuität der Masse ab, so daſs ein groſses Stück sie viel

1) Wenn sich Jemand eine genügende Idee von der hemmenden Wirkung dieser inducirten Ströme machen will, so nehme er einen Klumpen dichten Kupfers, von annähernd würflicher oder kugelförmiger Gestalt, 8 bis 16 Loth schwer, hänge denselben an einem langen Faden auf, versetze ihn in rasche Rotation, und bringe ihn so, wirbelnd, in das Magnetfeld eines Elektromagnets. Augenblicklich wird er die Bewegung gehemmt sehen; auch wird er es unmöglich finden, den Klumpen, so lange er in dem Felde ist, wieder in Wirbel zu versetzen.

Digitized by Google

besser zeigt, als eine Anzahl kleiner, und diese wiederum besser als die gepulverte Substanz. Selbst die Revulsionswirkung einer Kupfermasse kann gänzlich zerstört werden, wenn man sie in Feilstaub verwandelt. Leicht ersieht man, daſs von zwei Gruppen gleich symmetrisch gelagerter Antimonkrystalle, die eine aus groſsen wohl zusammenhängenden und also für die Induction von Strömen in der Masse günstig vereinten Krystallen bestehen kann, die andere aber nicht; und aus demselben Grunde können sie die magnekrystallischen Phänomene mit ungleicher Leichtigkeit zeigen, obwohl sie die Kraft dazu genau in gleichem Grade besitzen.

2517. Beim Experimentiren mit Antimonplatten wurden fernere Erläuterungen hiezu erhalten. Die Platten waren wie die des Wismuths (2480) aus zerbrochenen Massen ausgelesen. Einige derselben wirkten einfach, augenblicklich und gut; ihre breiten Seiten waren glänzende Spaltungsflächen. Irgendwo an den Kanten aufgehängt, wandten sie diese Flächen gegen die Pole, und sie oscillirten um ihre Endlage, in welcher sie allmälig zur Ruhe kamen.

2518. Als diese Platten mit Horizontalität ihrer Flächen aufgehängt wurden, vermochten sie nicht, sich im Magnetfelde einzustellen. Als sie geneigt wurden, nahmen die am meisten unter oder über die Horizontalebene versetzten Theile den nächsten Ort an den Magnetpolen ein (2482).

2519. Wenn mehre Platten übereinstimmend zu einem Bündel (2483) vereinigt wurden, war der *diamagnetische* Effect entfernt, und die magnekrystallische Oscillation und Einstellung ward sehr leicht und charakteristisch.

2520. So ist es einleuchtend, daſs es in allen diesen Fällen eine auf den Flächen der Platte winkelrechte Linie magnekrystallischer Kraft gab, die in ihrer Lage und Wirkung vollkommen übereinstimmte mit der Kraft, die zuvor an *Antimonkrystallen* aufgefunden wurde.

2521. Nun wurde eine andere Antimonplatte ausgewählt, die, *vermöge* ihres Ansehens, fähig schien, alle Erscheinungen *der früheren* Platten darzubieten, und doch,

als sie an ihrem Rande aufgehängt wurde, gab sie keine Anzeige von magnekrystallischen Resultaten. Denn erst rückte sie ein wenig vor (2310), darauf blieb sie stehen und behauptete ihren Platz, und als nun der Strom unterbrochen ward, während sie zwischen der aequatorialen und axialen Lage schwebte, sprang sie zurück, und zeigte ganz die Erscheinung des Kupfers (2315). Viele andere Platten verhielten sich genau ebenso.

2522. Als diese Platte (2521) in das intensive Feld zweier gegenüberstehender konischer Magnetpole gebracht wurde, zeigte sie dieselben Erscheinungen; allein ungeachtet sie eine Hemmung erlitt, bewegte sie sich langsam bis zur aequatorialen Lage, ein Resultat, welches wahrscheinlich aus vereinter Aeuſserung der *magnekrystallischen* und *diamagnetischen* Kraft entsprang. Als die Platte mit Horizontalität ihrer Flächen aufgehängt wurde, waren die hemmenden und rückdrehenden Wirkungen gehoben; denn die diese veranlassenden Inductionsströme können nur nothwendigerweise in verticalen Flächen existiren; ferner hatte sie kein Einstellungsvermögen, was zeigte, daſs in der Länge und Breite der Platte keine Axe der magnekrystallischen Kraft vorhanden war.

2523. Andere Platten zeigten gemischte Effecte und zwar in verschiedenem Grade. Einige z. B. oscillirten frei stellten sich gut ein und gaben keine Anzeigen von Stockungen und Rücksprüngen. Andere oscillirten träge, stellten sich aber gut ein, und zeigten eine Neigung zum Stocken. Andere stellten sich gut ein, gingen aber wie todt zur Ruhe, wie wenn sie sich in einer Flüssigkeit bewegten; und als die Magnetkraft entfernt wurde, ehe sie zur Ruhe gekommen, erlitten sie nur einen schwachen Rücksprung. Noch einge endlich stockten auf einmal, stellten sich nicht ein (innerhalb der Zeit meiner Beobachtung), und sprangen stark zurück.

2524. Eine sorgfältige Untersuchung mittelst des Hufeisenmagnets (2485) und des groſsen Elektromagnets (2247)

Digitized by Google

machte endlich die Ursache dieser Verschiedenheit der Effecte augenfällig.

2525. Zunächst mag bemerkt seyn, daſs zuweilen eine Antimonplatte ausgewählt worden (2517), die sehr blanke und anscheinend fehlerfreie Flächen hatte und daher glauben lieſs, sie würde sich im Magnetfelde gut richten; allein dem Hufeisenmagnet ausgesetzt, that sie es nicht, stellte sich vielmehr schief, mit geringer Kraft und vielleicht in zwei nicht diametrale Lagen. Dieſs rührte ohne Zweifel von einer verworrenen und verwickelten Krystallisation her. Solch eine Platte, von hinlänglicher Breite und Länge (nicht geringer als ein Viertel- oder Drittelzoll), dem Elektromagnet ausgesetzt, zeigt die Erscheinung des Stockens (2310) und Zurückspringens (2315) gut.

2526. Nächstdem habe ich zu erinnern, daſs zur Entwicklung der Inductionsströme, der Ursache des Stockens und Zurückspringens, die Platte hinglängliche Dimensionen in einer Verticalebene (2329) haben muſs. Die Ströme circuliren in der Masse und nicht um die einzelnen Theile (2329) und die Resultante der durch die Substanz gehenden Magnetkraftlinien ist die Axe, rings um welche die Ströme erregt werden. Das ist der Grund, weshalb die Erscheinung nicht vorkommt bei in horizontaler Lage aufgehängten Platten, welche dieselbe in verticaler Lage ganz gut zeigen, was man bei einer einen halben Zoll im Durchmesser haltenden Scheibe von dünnem Kupfer, Silber, Gold, Zinn oder fast jedem dehnbaren Metall wahrnehmen kann, obwohl die besten Leiter die geeignetsten hierzu sind. Nun ist diese Bedingung von keiner Bedeutung für die Magnekrystall-Wirkung und, bei gleicher Masse, hat eine schmale Platte ebenso viel Kraft als eine breite. Die erste Platte, die ich ausgewählt (2517), war gut krystallisirt, dick und schmal; folglich war sie günstig für die Magnekrystall-Wirkung, ungünstig für die Erscheinung des Stockens und Zurückspringens, und daher gab sie von letzterer Wirkung verhältniſsmäſsig keine Anzeige.

2527. Hat man eine breite und gut krystallisirte Platte, so treten beide Reihen von Wirkungen auf. Erregt man z. B. Magnetkraft, während die Platte herum wirbelt, so wird ihre Bewegung für einen Augenblick beschleunigt und dann gehemmt, und hebt man nun plötzlich die Magnetkraft auf, so wird sie zurückgeführt, genau wie eine Kupferplatte (2315). Wenn man aber die Magnetkraft unterhält, wird man wahrnehmen, daſs die Hemmung nur scheinbar ist; denn die Platte bewegt sich, obwohl mit sehr verringerter Geschwindigkeit, und fährt darin fort, bis sie ihre magnekrystallische Lage angenommen hat. Sie bewegt sich wie in einer dicken Flüssigkeit. Die magnekrystallische Kraft ist also da und übt ihre volle Wirkung, und die Erscheinungen sind nur anders, weil gerade die von dieser Kraft hervorgebrachte Bewegung diejenigen magneto-elektrischen Ströme erregt (2329), welche durch ihre wechselseitige Wirkung mit dem Magnet die Bewegung zu hemmen suchen; daraus dann die Langsamkeit und zuletzt die todte Einstellung (2512. 2523).

2528. Ein Magnet, welcher schwächer ist (als der (2485) beschriebene Hufeisenmagnet) erregt die Inductionsströme in geringerem Grade, und zeigt doch die Magnekrystallkraft gut an; er ist also unter gewissen Umständen vortheilhafter für dergleichen Untersuchungen, da er den einen Effect von dem anderen zu unterscheiden hilft.

2529. Leicht ersieht man, daſs Platten, gleich viel ob von demselben oder verschiedenem Metall, durch ihre Schwingungen nicht hinsichtlich ihrer Magnekrystallkraft verglichen werden können; denn vermöge dieser inducirten Ströme schwingen Platten von gleicher Krystallkraft in sehr ungleicher Weise. Ich nahm eine Platte; kittete (2458) ausgewähltes Papier an ihre Flächen und beobachtete nun ihr Verhalten im magnetischen Felde; sie stellte sich langsam ein und zeigte die Stockungen und Rücksprünge (2521). Ich zerdrückte sie nun in einem Mörser in viele Stücke die jedoch ihren Platz behielten; jetzt stellte sie sich freier

Digitized by Google

und rascher ein und zeigte sehr wenig von der Erscheinung des Zurückspringens.

2530. Obwohl Schwingungen somit eine unsichere Angabe liefern, so bleibt uns doch noch die Torsionskraft als eine, glaube ich, genaue Anzeige von der Stärke der Einstellung (2500) und folglich auch der Magnekrystallkraft; ein seidener Aufhängefaden mag ein wenig nachgeben, aber ein Glasfaden, wie ihn Ritchie empfiehlt, wäre vollkommen geeignet.

2531. Das Antimon mufs in Richtung der Krystallplatten ein guter Elektricitätsleiter seyn, sonst würde es nicht die Erscheinung des Zurückspringens so frei zeigen. Gruppen von Antimonkrystallen (2508) zeigten dieselbe in solchem Grade, dafs sie mich glauben lassen, die einzelnen Krystalle besitzen in allen Richtungen ein nahe gleich gutes Leitvermögen. Ein Stück fein krystallisirten oder körnigen Antimons zeigt sie jedoch nicht in gleichem Maafse, wornach es scheint, wie wenn ein einigermafsen ähnlicher Effect, wie der der Zertheilung, entweder an der Gränze zweier incongruenter Krystalle oder zwischen den anliegenden Platten der Krystalle stattfindet und das Leitvermögen in diesen Richtungen abändert.

III. Krystallpolarität des Arseniks.

2532. Eine Masse Arsenikmetall von krystallinischer Structur (2480) wurde zerschlagen und aus den Bruchstücken einige Platten ausgewählt, die gute und ebene Spaltungsflächen besafsen, etwa 0,3 Zoll lang, 0,1 Zoll breit und 0,03 Zoll dick waren. Diese, einem konischen Pol gegenüber aufgehängt, erwiesen sich vollkommen *diamagnetisch,* und vor oder zwischen zwei Polen, stark *magnekrystallisch.* Ich besitze ein Paar flachseitige Pole mit Schraubenlöchern in der Mitte der Flächen, und diese schwächen die Intensität der Magnetlinien in der Mitte des Feldes so sehr, dafs wenn die Flächen einen halben Zoll von einander stehen, ein 0,3 Zoll langer Cylinder von körnigem Wismuth sich

axial oder von Pol zu Pol richtet (2384). Allein bei den Arsenikplatten zeigte sich zwischen denselben Polen keine Tendenz dieser Art; so sehr überwog die magnekrystallische Kraft der Substanz ihre diamagnetische.

2533. Wurden die Arsenikplatten mit Horizontalität ihrer Flächen aufgehängt, so stellten sie sich zwischen den flachseitigen Polen gar nicht mehr. Aber jede Neigung der Flächen gegen den Horizont bewirkte Einstellen, mehr oder minder stark, je nachdem die Flächen sich mehr der Verticalität näherten, genau wie in der schon beim Wismuth und Antimon beschriebenen Weise.

2534. Sonach besitzen also Arsenik, nebst Wismuth und Antimon, die magnekrystallische Kraft oder Beschaffenheit.

Royal Institution, 23. Sept. 1848.

II. *Fortsetzung der zwei und zwanzigsten Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von M. Faraday.*

§. 28. Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper so wie deren Beziehung zur magnetischen und elektrischen Kraftform (Fortsetzung).

IV. Krystallzustand verschiedener Körper.

2535. *Zink.* Platten, aus krystallisirten Zinkmassen herausgebrochen, gaben unregelmäſsige Anzeigen; allein, da sie wegen Unreinigkeiten zugleich magnetisch waren, so mögen die Effecte gänzlich daraus entsprungen seyn. Nun wurde reines Zink aus dem Chlorid und dem Sulphat elektrochemisch auf Platin niedergeschlagen; das erstere lieferte es in dendritischer, das andere in compacter Form. Beide Niederschläge waren diamagnetisch, frei von magnetischer

Digitized by Google

Wirkung, zeigten aber keine Spur von magnekrystallischer Action.

2536. *Titan* [1]). Gute Titankrystalle, aus dem Boden eines Hochofen herstammend, wurden durch abwechselnde Behandlung mit Säuren und Fluſsmitteln so gut wie möglich von Eisen gereinigt. Sie waren glänzend, wohl gebildet und magnetisch (2371), enthielten aber Eisen und zwar, wie ich glaube, durch ihre ganze Masse verbreitet, denn Königswasser zog bei langem Sieden beständig Eisen und Titan aus. Diese Krystalle besaſsen einen gewissen Magnetismus, welchen ich geneigt bin ihrer krystallischen Structur zuzuschreiben. Zwischen den Polen eines Elektromagnets stellten sie sich, selbst dann noch, wenn durch Unterbrechung des elektrischen Stroms die Kraft des Magnets sehr geschwächt worden. Ein Krystall sich selbst überlassen, nahm immer dieselbe Lage an, zum Beweise, daſs er stets in derselben Richtung magnetisch geworden. Wenn aber ein Krystall in anderer Lage zwischen den Magnetpolen gehalten ward, während der elektrische Strom thätig war, und man unterbrach nun den Strom, so behielt der freigelassene Krystall auch diese neue Richtung zwischen den geschwächten Polen, zum Beweise, daſs der Magnetismus nun in anderer Richtung als zuvor in dem Krystall erregt worden war. Wenn hierauf der Magnet wieder durch den elektrischen Strom erregt ward, sprang der Krystall sogleich herum und nahm seinen Magnetismus in der früheren Richtung an. In der That lieſsen sich die Krystalle in jeder Richtung magnetisiren, doch in einer Richtung leichter und stärker als in allen übrigen. Ich bin geneigt dieses der krystallischen Structur zuzuschreiben; allein es kann auch von einer unregelmäſsigen Vertheilung von Eisen in der Titanmasse herrühren. Die Krystalle waren zu klein für mich, um dieſs gehörig aufzuklären.

2537. *Kupfer*. Gute Krystalle von nativem Kupfer, sorgfältig ausgelesen von der Masse, wurden auf ihre

1) Diese und viele andere Krystalle verdanke ich der Güte des Sir Henry T. De la Beche und des Hrn. Tennant.

Digitized by Google

Magnekryſtallkraft geprüft. Neben dem Hufeiſenmagnet (2486) gaben ſie keine Anzeige von dieſer Kraft; in welcher Richtung ſie auch aufgehängt werden mochten: ſie blieben in jeder ſtehen; und wie wenig man auch den Aufhängefaden oben drehen mochte, ſo folgte doch unten der Kryſtall ſogleich und zu vollem Betrage. Dem Elektromagnet ausgeſetzt, zeigten ſich die Erſcheinungen des Stockens und Zurückſpringens (2513, 2310), wie zu erwarten. Wenn, nach dem Stocken, die Magnetkraft unterhalten ward, zeigte ſich kein langſames Vorrücken des Kryſtalls in eine beſtimmten Richtung (2512); vielmehr ſtand er in jeder Lage vollkommen ſtill. Das Kupfer gab alſo keine Anzeige von magnekryſtalliſcher Wirkung.

2538. *Zinn.* Aus Block- und Kornzinn las ich einige Stücke aus, welche, ihrer äuſseren Form und der bei Behandlung mit Säuren entſtehenden Oberfläche nach, ein regelmäſsig kryſtalliniſches Gefüge im Innern zu beſitzen ſchienen; ich ſchnitt Stücke davon ab und unterwarf ſie ſorgfältig der Kraft der Magnete, konnte aber keine magnekryſtalliſche Erſcheinungen wahrnehmen. Anzeigen von Stockungen und Rückſprüngen waren vorhanden, auch von diamagnetiſcher Kraft, ſonſt aber nichts. Ich unterſuchte auch einige durch elektrochemiſche Zerlegung gebildete Zinnkryſtalle; ſie waren rein und diamagnetiſch, lieſsen Hemmungen und Rückſprünge zu, gaben aber keine Anzeige von magnekryſtalliſcher Action.

2539. *Blei.* Blei wurde geſchmolzen und, nach theilweiſer Erſtarrung, ausgegoſſen (2457); dadurch wurden einige ſchöne Kryſtalle von octaëdriſcher Geſtalt erhalten. Vor den Magneten zeigten ſie ſchwache Hemmungen und Rückſprünge, aber keine magnekryſtalliſche Erſcheinungen. Darauf wurden feine kryſtalliniſche Bleiplatten, die durch elektrochemiſche Zerſetzung von eſſigſaurem Blei erhalten worden, dem Magnet ausgeſetzt; ſie waren rein und diamagnetiſch, zeigten Stockungen und Rückſprünge, aber keine magnekryſtalliſche Action.

2540. *Gold.* Es wurden drei ſchöne groſse Goldkry-

Digitized by Google

stalle untersucht. Sie waren diamagnetisch und leicht zu hemmen, (2310. 2340) gaben aber wegen ihrer octaëdrischen oder rundlichen Gestalt, keine Rücksprünge. Auch lieferten sie keine Anzeige von Magnekrystallität.

2541. *Tellur.* Es wurden zwei Bruckstücke mit groſsen und parallelen Spaltungsflächen untersucht; beide stellten sich ein und zwar, der gröſsten Länge nach, zwischen flachseitigen Polen (2463) quer gegen die axiale Linie. Ich glaube, diese Erscheinung entsprang zum Theil, wenn nicht gänzlich, aus dem magnekrystallischen Zustand der Substanz, halte es aber nicht für entscheidend bewiesen.

2542. *Osmium-Iridum.* Die natürlichen Körner dieser Legirung sind oft flach, zwei wie Krystallflächen aussehende Seiten darbietend, die, selbst wenn die Körner dick sind, einander parallel liegen. Es wurden einige der gröſsten und krystallinischsten Körner ausgewählt, und, nach Glühen mit Fluſs und Digestion mit Königswasser, vor dem Magnet untersucht. Einige waren magnetischer als andere, und wurden angezogen; andere wurden es sehr wenig; die letzteren wurden ausgelesen und sorgfältiger untersucht. Sie alle richteten sich mit groſser Leichtigkeit und verhältniſsmäſsig groſser Kraft; denn, obwohl sie nur 0,2 Zoll lang waren, stellten sie sich leicht, wenn auch die Pole 3 oder 4 Zoll aus einander standen. *Immer* wandten die Krystalle ihre Seitenflächen den Polen zu, richteten also ihre Länge nicht *in*, sondern *quer* gegen die Axiallinie, es mochten übrigens die Pole viel oder wenig aus einander stehen, flachseitig oder konisch seyn. Ich halte sie für magnekrystallisch.

2543. *Leicht schmelzbares Metall (Fusible metal).* Krystalle von leicht schmelzbarem Metall (2457) stellten sich ein, aber dieselben, anscheinend vierseitige Platten oder Prismen, waren nicht gut, und daher ihre Angabe nicht deutlich.

2544. *Drähte.* Ich hielt es für möglich, daſs dünne Drähte, welche nach Behandlung mit Säuren ein faseriges Gefüge zeigten, eine der Krystallität sich nähernde

Anordnung ihrer Theilchen besitzen könnten, und unterwarf daher Bündel von Platin- Kupfer- und Zinndrähten der Wirkung des Magnets; allein es erschien keine Anzeige von magnekrystallischer Action.

2545. Ich unterwarf mehre Metall-Verbindungen der Kraft des Magnets in solcher Weise, dafs sie magnekrystallische Erscheinungen hätte zeigen können: Bleiglanz, natürlichen Zinnober, Zinnstein, Schwefelzinn, Rothkupfererz, Brookit oder Titanoxyd, Eisenkies, auch Diamant, Flufsspath, Steinsalz und Boracit; allein obgleich sie alle wohl krystallisirt und diamagnetisch waren, gaben sie keine Anzeige von Magnekrystallkraft. Natürliches und gut krystallisirtes Schwefelkupfer, Schwefelzink, Kobaltglanz und Leucit waren magnetisch. An keinem von ihnen konnte ich ein von der Krystallisation herrührendes magnetisches Resultat erkennen.

2546. Bei Untersuchung der *magnetischen Salze* erwiesen sich verschiedene derselben sehr auffallend magnekrystallisch, so das *schwefelsaure Eisenoxydul*, welches zunächst genommen wurde. Mit Verticalität der magnekrystallischen Axe aufgehängt, zeigte es keine besondere Erscheinungen, nur dafs die längere Horizontaldimension sich schwach in die magnetische Axe stellte; als aber der Krystall um 90° gedrehte wurde (2470) richtete er sich mit vieler Kraft und die gröfsere Länge stellte sich aequatorial. Der Krystall bestand aus übereinander liegenden flachen Individuen oder Tafeln und die Magnekrystallaxe ging quer durch sie hin. Nach einem Paar Versuchen war es daher leicht, voraus zu sagen, wie ein Krystall aufgehängt werden müsse, und wie er einspielen werde. Die Krystalle mochten lang oder schief oder unregelmäfsig seyn, so war doch die Magnekrystallkraft vorherrschend und das Bestimmende ihrer Lage, gleichviel ob die Pole zugespitzt oder abgeflacht, nahe oder weit von einander waren. Die Magnekrystallaxe ist ganz oder beinahe rechtwinklich auf einer der Seiten des rhombischen Prismas. Ich besitze kleine prismatische Krystalle, deren Länge fast das Dreifache der

Breite

Digitized by Google

Breite ist; wenn beide, Länge und Magnekrystallaxe, horizontal sind, vermag keine Kraft oder Gestalt oder Lage der Magnetpole die Länge in die axiale Richtung zu bringen, vielmehr wird diese beständig von der Magnekrystallaxe eingenommen: so überwiegend ist deren Kraft über die bloſs magnetische Kraft des Krystalls. Und doch ist die letztere mit unter so groſs, um die Aufhängefasern zu zerreiſsen, wenn der Krystall sich über den Polen befindet (2615).

2547. *Schwefelsaures Nickeloxyd.* Ein Krystall desselben im Magnetfelde aufgehängt, stellte sich seiner Länge nach axial ein. Dieſs konnte theils von bloſser Magnetkraft, theils von Magnekrystallkraft herrühren. Ich schnitt aus dem Krystall einen Würfel, an dem zwei Flächen rechtwinklich waren auf der Länge des Prismas. Dieser Würfel spielte im Magnetfeld gut ein und zwar richtete die mit der Axe des Prismas zusammenfallende Linie sich axial; sie stellte die Magnekrystallaxe vor. Selbst wenn der Würfel in dieser Richtung verkürzt, und in eine quadratische Tafel verwandelt wurde, deren Axe mit der Magnekrystallaxe zusammenfiel, richtete er sich so gut wie zuvor, obwohl jetzt die kürzesten Dimensionen axial zu liegen kamen.

2548. *Schwefelsaures Eisenoxyd-Ammoniak* und *schwefelsaures Manganoxydul* gaben keine Anzeige von magnekrystallischen Erscheinungen; *schwefelsaures Manganoxydul-Ammoniak* glaube ich gab sie, aber die Krystalle waren nicht gut. *Schwefelsaures Nickeloxyd-Kali* ist magnekrystallisch. Alle drei Salze sind magnetisch.

2549. Somit erhellt dann, daſs auſser Wismuth, Antimon und Arsenik auch andere Körper magnekrystallische Effecte darbieten. Zu diesen gehören die Legirung von Iridium und Osmium, wahrscheinlich Tellur und Titan, und sicher schwefelsaures Eisenoxydul und schwefelsaures Nickeloxyd. Ehe ich diesen Gegenstand verlasse, muſs ich noch bemerken, daſs diese Eigenschaft mich wahrscheinlich früher (2290) manchmal zu Irrthümern verleitet hat. Daraus möchte namentlich sehr leicht ein Versehen beim Arsenik (2383) entstanden seyn.

Digitized by Google

V. Ueber die Natur der Magnekrystallkraft und allgemeine Betrachtungen

2550. Die Magnekrystallkraft scheint sehr deutlich sowohl von der magnetischen als von der diamagnetischen Kraft unterschieden zu seyn, in sofern sie weder ein Annähern noch ein Zurückweichen, weder Anziehung noch Abstoſsung bewirkt, sondern bloſs der ihrem Einflusse ausgesetzten Masse eine gewisse bestimmte Richtung verleiht, so daſs eine gegebene Linie in der Masse gegen die Richtung der äuſseren Magnetkraft in eine bestimmte Lage kommt.

2551. Ich hielt es für nothwendig, den Schluſs, daſs die Kraft weder einen anziehenden, noch einen abstoſsenden Einfluſs ausübe, sorgfältig zu prüfen und zu beweisen. Zu dem Ende construirte ich eine Torsionswaage mit Bifilarsuspension von Coconfäden, bestehend aus zwei Bündeln, jedes von sieben Filamenten, vier Zoll lang und ein Zwölftelzoll aus einander; von dem Ende eines Hebels lieſs ich daran einen Wismuthkrystall (2457) hängen, so daſs er in jeder Lage festgehalten werden konnte. Diese Waage war durch einen Glaskasten geschützt, an dessen Auſsenseite sich das konische Ende eines der Pole des groſsen Elektromagnets (2247) befand, und zwar horizontal, rechtwinklich gegen den Hebel der Torsionswaage, und in solcher Lage, daſs der Wismuthkrystall sich in der Verlängerung der Axe des Pols befand, etwa einen halben Zoll von seinem Ende, wenn alles in Ruhe war. Der andere vier Zoll entfernte Pol war breit gelassen, damit die Magnekraftlinien gleichsam divergirten, und von dem konischen Pole aus rasch an Stärke abnehmen muſsten. Der Zweck war nun, den Grad der vom Magnet auf das Wismuth, als diamagnetischen Körper, ausgeübten Abstoſsung zu beobachten, entweder durch den Abstand, bis zu welchem es fortgestoſsen wurde, oder durch die Torsion, die man zur Zurückführung in seine erste Lage anzuwenden hatte; und ferner zu sehen, ob ein Unterschied vorhanden sey, wenn dabei das Wismuth seine Magnekrystallaxe einmal axial oder

Digitized by Google

den Magnekraftlinien parallel, und das andere Mal aequatorial zu liegen habe.

2552. Der Krystall wurde daher zunächst mit seiner Magnekrystallaxe den Magnekraftlinien parallel gestellt, und nach einander viermal um 90° in horizontaler Lage gedreht, um ihn unter allen Lagen der Magnekrystallaxe zu beobachten. In keinem Falle konnte indeſs ein Unterschied in dem Betrage der Abstoſsung beobachtet werden. Bei anderen Versuchen hatte die Axe eine schiefe Lage, aber das Resultat war noch dasselbe. Wenn daher irgend ein Unterschied vorhanden ist, muſs er äuſserst klein seyn.

2553. Ein entsprechender Versuch, wobei der Krystall gleich einem Pendel bifilar an 30 Fuſs langen Seidenfäden hing, gab dasselbe Resultat.

2554. Eine andere Reihe schlagender Beweise, daſs die Wirkung nicht von Attraction oder Repulsion herrührte, wurde in folgender Weise erhalten. Eine Strähne von funfzehn Coconfasern, etwa 14 Zoll lang, wurde oben befestigt und am unteren Ende mit einem Gewicht von einer Unze und mehr beschwert. Die Mitte dieser Strähne war ungefähr in der Mitte vom magnetischen Felde des Elektromagnets, und das quadratische Gewicht unten ruhte an der Seite eines Holzklotzes, so daſs eine verticale, steife seidene Axe ohne Schwingung und Umdrehung gebildet war. In der Mitte dieser Axe und quer gegen sie wurde ein kleiner Kartenstreif von 0,5 Zoll Länge und 0,1 Zoll Breite durch Kitt befestigt und dann ein kleiner Eisenvitriolkrystall von etwa 0,3 Zoll Länge und 0,1 Zoll Dicke an die Karte geheftet, so, daſs dessen Länge und auch dessen Magnekrystallaxe in der Horizontalebene lagen. Der Krystall befand sich seiner ganzen Länge nach an Einer Seite der seidenen Axe, so daſs, wenn er herumschwang, die Länge der Radius des beschriebenen Kreises war, und die Magnekrystallaxe parallel zu dessen Tangente.

2555. Die Ruhelage des Krystalls war durch die Torsionskraft der seidenen Axe bedingt und lieſs sich durch Drehung des unteren Gewichtes beliebig verändern. Die

Digitized by Google

Torsionskraft dieser Axe war von solcher Stärke, daſs der Krystall, in Schwingungen versetzt, deren vierzig (ganze, hin und her) in einer Minute vollbrachte.

2556. Brachte man den Krystall in schiefe Lage (wie Fig. 4 Taf. I.) zwischen den flachseitigen Polen, so suchte er sich im Moment der Erregung des Magnets, mit seiner Länge aequatorial, oder mit seiner Magnekrystallaxe parallel den Magnekraftlinien zu stellen. Wurde der Nordpol entfernt und dann der Versuch wiederholt, so war der Erfolg derselbe, obgleich nicht so stark wie zuvor. Und als endlich der Südpol dem Krystall so nahe gebracht ward, als es ohne ihn zu berühren geschehen konnte, ergab sich dasselbe Resultat und zwar mit gröſserer Stärke als zuvor.

2557. In den beiden letzten Versuchen *wich* also der Eisenvitriolkrystall, obwohl er als magnetischer Körper von dem angewandten Magnet stark angezogen ward, unter dem Einfluſs der Magnekrystallität von dem Magnetpol *zurück*.

2558. Wurde der Südpol entfernt und der Krystall bloſs der Wirkung des Nordpols ausgesetzt, so näherte er sich demselben, getrieben sowohl von der magnetischen als von der magnekrystallischen Kraft; wurde aber der Krystall um 90° links oder 180° rechts um die seidene Axe gedreht, so daſs er in umgekehrte oder entgegengesetzte Lage kam, so stieſs dieser Pol ihn ab oder versetzte ihn in eine gewisse Entfernung, gerade wie es der Südpol that. Der Versuch erfordert Sorgfalt, und konische Pole eignen sich nicht gut dazu; allein bei ein wenig Achtsamkeit konnte ich die Resultate mit äuſserster Leichtigkeit erhalten.

2559. Der Eisenvitriol wurde nun durch eine krystallinische Platte von Wismuth ersetzt (2480), und diese, wie jener, mit der Magnekrystallaxe horizontal, an Einer Seite der Seidenaxe befestigt. Gegen den Nordpol in dieselbe Lage gebracht, welche der Krystall im vorhergehenden Versuch (2556) besaſs, so daſs sie sich, um ihre Axe den Magnekraftlinien parallel zu stellen, dem Magnetpol nähern muſste, that sie dieses wirklich, so wie der Magnet in Thätigkeit gesetzt ward, zuwider ihrem Diamagnetismus, aber unter

Digitized by Google

der Herrschaft der Magnekrystallkraft. Der Effect war gering, aber deutlich.

2560. Einstweilen das Resultat des weiterhin (2607) gegebenen Raisonnements anticipirend, will ich einen entsprechenden, mit dem rothen Cyaneisenkalium erhaltenen Effect beschreiben. Ein Krystall dieses Salzes, der durch Abschleifung seiner scharfen Kanten in eine Tafel, mit Flächen parallel der Ebene der optischen Axen, verwandelt worden, wurde statt der Wismuthplatte genommen. In der zuvor (2556) abgebildete Lage der Wirkung des Magnets ausgesetzt, bewegte er sich und stellte die Ebene der optischen Axen aequatorial, wie es Plücker beschreibt. Dasselbe geschah, wenn der Nordpol entfernt und der Südpol an den Krystall gebracht wurde; der Krystall *wich* vom Pol *zurück*. Wurde dagegen der Südpol entfernt und der Nordpol neben dem Krystall angewandt, so näherte sich letzterer, als Ganzes, diesem Pol. Stellte man den Krystall auf die andere Seite der Aequatorial-Linie, so bewirkte der Südpol eine *Annäherung* und der Nordpol eine *Entfernung*. So schien also ein und derselbe Pol eine und dieselbe Seite des Krystalls anziehen und abstoſsen zu können, und jeder der Pole vermochte diese scheinbare Anziehungs- und Abstoſsungskraft zu äuſsern.

2561. Dieſs ist ein Beweis, daſs weder eine Anziehung noch eine Abstoſsung die Einstellung oder endliche Lage des Körpers verursacht (2607).

2562. Diese Kraft ist also in Charakter und Wirkung verschieden von der magnetischen und diamagnetischen Kraftform. Andererseits hat sie die offenbarste Beziehung zum Krystallgefüge des Wismuths und anderer Körper, deshalb auch zu den Molekülen und zu der Kraft, durch welche Moleküle im Stande sind, Krystallmassen zu bilden. Es scheint mir unmöglich, die Resultate anders aufzufassen als durch eine Wechselwirkung der Magnetkraft und der Kraft der Krystalltheilchen zu einander, und dieſs führt zu dem weiteren Schluſs, daſs sie, in sofern sie auf einander einzuwirken vermögen, gleicher Natur theilhaft sind, wodurch

Digitized by Google

die Lösung jenes groſsen Problems der Philosophie der Molecularkräfte, welche ihnen allen einen gemeinsamen Ursprung beilegt (2146), eine neue Stütze bekommt.

2563. Mögen wir einen Krystall oder ein Theilchen vom Wismuth betrachten, so hat doch die Polarität desselben einen sehr ungewöhnlichen Charakter im Vergleich zur Polarität eines Theilchens im gewöhnlichen magnetischen Zustand oder zu sonst einem Dualismus von physischer Kraft. Denn die entgegengesetzten Pole haben *gleiche* Charaktere, wie vor allem aus der diametralen Einstellung der Massen (2461), und dann aus den physischen Charakteren und Relationen der Krystalle im Allgemeinen erhellt. Da die Molecüle in der Masse eines Krystalles liegen, so können sie keineswegs repräsentirt werden durch den Zustand eines Spänchens Eisenfeilicht zwischen den Polen eines Magnets oder durch den der Eisentheilchen in dem daran gelegten Anker; denn diese haben *ungleichnamige* Pole und die Eigenschaft zusammenzuhaften und so eine Art Structur zu bilden; wogegen in den Krystallen die Molecüle einander Pole von gleicher Art zuwenden, denn es sind, so zu sagen, alle Pole gleich.

2564. So wie aus den Erscheinungen erhellt, ist die Magnekrystallkraft eine in die Ferne wirkende Kraft; denn der Krystall kann aus der Ferne vom Magnet bewegt werden (2574) und kann ihn auch aus der Ferne bewegen. Um dieſs letztere Resultat hervorzubringen, magnetisirte ich eine stählerne Haarnadel (*bodkin*) von etwa drei Zoll Länge und hing sie mittelst eines vier Zoll langen einfachen Coconfadens an einem horizontalen Stäbchen auf, das wiederum mittelst eines anderen Seidenfadens in der Mitte an einem festen Punkt aufgehängt war. Auf diese Weise konnte die Nadel sich frei um ihre Axe drehen und zugleich einen Kreis von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser beschreiben. Die letztere Bewegung war durch die Tendenz der Nadel, sich unter dem Einfluſs der Erde zu richten, nicht gehindert, weil sie in dem Kreise jegliche Richtung annehmen und doch sich selbst parallel bleiben konnte.

Digitized by Google

2565. Aus einem Glasstab und Kupferdraht wurde ein von magnetischer Wirkung vollkommen freier Träger construirt, und durch den Boden des Stativs geführt, in der Verlängerung der oberen Drehungsaxe und also concentrisch mit dem Kreise, welchen der kleine Magnet beschreiben konnte; er hatte eine solche Höhe, daſs er im Niveau mit dem Pol am unteren Ende der Nadel und im Centro des kleinen Kreises, in welchem dieser Pol sich um ihn drehen konnte, einen Krystall oder irgend eine andere Substanz zu tragen vermochte. Durch Bewegung seines unteren Endes konnte man sein oberes Ende dem Magnete nähern oder von ihm entfernen. Das Ganze wurde mit einer Glasglocke bedeckt. Stehen gelassen, bis die Temperatur gleichförmig geworden und die Nadel zur Ruhe gekommen war, hatte diese unter dem Einfluſs der Torsionskraft des Aufhängefaden eine constante Lage angenommen. Eine Drehung des aus Glas und Kupfer gebildeten Trägers bewirkte keine bleibende Aenderung in der Lage des Magnets; denn obwohl die Bewegung der Luft den Magnet fortführte, so kehrte er doch zuletzt zu demselben Ort zurück. Wurde er aus diesem Orte abgelenkt, so oscillirte das System vermöge der Torsionskraft des Seidenfadens; die Zeit einer halben Oscillation oder eines Ganges in einer Richtung betrug etwa drei Minuten, die einer ganzen Oscillation also sechs Minuten.

2566. Ein Wismuthkrystall, mit der Magnekrystallaxe in horizontaler Richtung an dem Träger befestigt, konnte dem unteren Pol der Nadel in jeder Richtung nahe gebracht werden, und nach zwei- oder dreistündigem Stehenlassen oder, wenn nach wiederholter Untersuchung der Magnetpol sich als in Ruhe erwies, konnte die Lage desselben bestimmt und der Grad und die Richtung der Einwirkung des Wismuths auf ihn ermittelt werden. Diese Beobachtungen erforderten ungemeine Vorsicht; alle stählernen und eisernen Gegenstände, wie Brillen, Messer, Schlüssel u. s. w. muſste der Beobachter, ehe er herantrat, von sich ablegen, auch nur Glasleuchter anwenden. Der er-

Digitized by Google

zeugte Effect, obwohl nur gering, ergab das Resultat, daſs wenn die Magnekrystallkraft einen Winkel von 10°, 20° oder 30° mit der vom Magnetpol zur Mitte des Wismuthkrystalles gezogenen Linie machte, der Pol ihr folgte und beide Linien in Parallelismus zu bringen suchte, was für ein Ende der Magnekrystallaxe übrigens dem Pole zugekehrt, oder nach welcher Seite sie gewandt seyn mochte. Durch successives Bewegen des Wismuths konnte die Ablenkung des Magnetpols auf 60° gebracht werden.

2567. Ein Wismuthkrystall ist daher im Stande aus der Ferne auf einen Magnet zu wirken.

2568. Allein diese in die Ferne wirkende Kraft entspringt doch aus derselben, die Theilchen zu einem krystallinischen Gefüge anordnenden Ursache, welche wir zu anderen Zeiten Aggregations-Anziehung nennen, und so oft als nur in *unmerkliche* Abstände wirkend betrachten.

2569. Zur weiteren Aufhellung der Natur dieser Kraft schritt ich nun zur Untersuchung des Einflusses der Wärme auf Wismuthkrystalle im magnetischen Felde. Die Krystalle wurden an dünnen Drähten von Platin oder Kupfer aufgehängt und erhitzt, zuweilen direct durch eine kleine Weingeistlampe, zuweilen durch ein zwischen die Pole gebrachtes Oelbad. Obwohl hiebei der aufsteigende Strom von Luft oder Oel stark war, so vermochte er doch nicht die durch die magnekrystallische Kraft bewirkte Einstellung zu hindern, sondern half mit zu zeigen, wann diese Wirkung abnahm oder aufhörte.

2570. Bei allmäliger Steigerung seiner Temperatur in der Luft fuhr der Wismuthkrystall fort sich zu richten, bis er plötzlich in dieser Beziehung indifferent wurde und unter dem Einfluſs der aufsteigenden Luftströme jede Richtung annahm. Als darauf die Flamme entfernt wurde, drehte er sich langsam und regelmäſsig, wie wenn er keine Lage lieber als die andere annehmen wollte oder keine magnekrystallische Wirkung zurückgeblieben wäre. Allein nach wenigen Sekunden weiterer Temperaturabnahme nahm er seine Richtkraft wieder an, scheinbar in einem Augenblick

Digitized by Google

und mit voller Kraft; auch stellte er sich genau in der früheren Richtung ein. Bei sorgfältiger Untersuchung des Krystalls zeigte sich, daſs seine äuſsere Gestalt und seine Spaltbarkeit unverändert geblieben waren; allein ein kleines Wismuthkügelchen, welches an einer Stelle an der Oberfläche ausgeschwitzt war, zeigte, daſs die Temperatur dem Schmelzpunkt sehr nahe gewesen.

2571. Dasselbe Resultat ergab sich im Oelbad, ausgenommen, daſs mehr Wismuth schmolz, da bei Entfernung der Lampe von dem Oelbade nicht sogleich die weitere Erwärmung unterdrückt war; etwa ein Viertel des Metalls hing unten als ein Tropfen daran. Dennoch verlor die Masse ihre Kraft in der hohen Temperatur und nahm sie beim Erkalten wieder an, in derselben Richtung, nur in geringerem Grade. Die Schwächung der Kraft erklärte sich beim Zerbrechen des Krystalls, denn die flüssig gewesenen Theile waren nun unregelmäſsig krystallisrt, und deshalb am Ende des Versuchs neutralisirt, während sie zu Anfang desselben sich activ verhalten hatten.

2572. Da Wärme diese Wirkung ausübt, so ist die frühere Erwartung (2502), Wismuth im Magnetfelde regelmäſsig krystallisiren zu sehen, natürlich unbegründet; denn das Metall muſs in den starren Zustand treten und vermuthlich mehre Grade weiter erkalten, ehe es die magnekrystallischen Erscheinungen zeigen kann. Wenn die Wärme auf alle Körper vor ihrer Liquefaction dieselbe Wirkung ausübt, kann natürlich jener Proceſs auf keinen derselben angewandt werden.

2573. Als ein Stück krystallisirtes Antimon demselben Versuch unterworfen ward, verlor es seine magnekrystallische Kraft unterhalb dunkler Rothgluth, just als es soweit erweicht war, daſs es von dem es tragenden Kupferdraht einen Eindruck annahm. Nach dem Erkalten hatte es nicht seinen früheren Zustand angenommen, war vielmehr gewöhnlich magnetisch (*magnetic*) und richtete sich. Dieſs glaube ich rührt her von Eisen, welches von der Flamme und Hitze der Weingeistlampe afficirt worden war; denn

da die Hitze stark genug war, um einen Theil des Antimons zu verbrennen, und in Rauch von Antimonoxyd zu verwandeln, so könnte sie auch einen Theil Eisen frei gemacht, und dadurch den Kohlen- und Wasserstoff der Flamme in magnetischen Zustand versetzt haben (2608).

2574. Zur ferneren Erläuterung der Wechselwirkung zwischen Wismuth und dem Magnet wurde ersteres in der (2551) beschriebenen Weise an der Bifilarwaage aufgehängt, jedoch so gedreht, daſs seine Magnekrystallaxe, zwar horizontal, aber nicht parallel oder winkelrecht gegen den Hebelarm, sondern etwas geneigt war, wie in Fig. 5 Taf. I. wo 1 den am Waagebalken *b* sitzenden Krystall vorstellt, der vermöge der Lage der Drehungsaxe durch die Lagen 1, 2, 3, 4,.. schwingen kann. *S* ist der Magnetpol, getrennt von ihm bloſs durch die Glasglocke. In der Lage 1 sind offenbar die Magnekrystallaxen und Magnekraftlinien einander parallel, in den Lagen 2, 3, 4 dagegen schief. Wurde der Apparat so vorgerichtet, daſs der Wismuthkrystall in 1 ruhte, so brachte die Entfaltung (*superinduction*) der vollen Magnetkraft ihn nach 4; ein Resultat der diamagnetischen Wirkung. Hatte jedoch das Wismuth seinen Ruheort in 2, so führte die Entwicklung der Magnekraft dasselbe nicht nach 3, übereinstimmend mit dem früheren Resultat, sondern nach 1, welches es meistens erreichte und oft überschritt, ein wenig auf 4 zugehend. In diesem Falle wirkten Magnekrystallkraft und Magnetkraft einander entgegen, und die erstere überwog bis zu der Lage 1.

2575. Allein wiewohl der Wismuthkrystall sich in diesen Fällen quer gegen die Kraftlinien des magnetischen Feldes bewegte, darf nicht erwartet werden, daſs er es auch in einem Felde thue, wo die Linien parallel und von gleicher Stärke sind, wie zwischen flachseitigen Polen; der Krystall ist gezwungen sich nur parallel zu sich selbst zu bewegen; denn unter solchen Umständen sind die Kräfte in beiden Richtungen und zu beiden Seiten der Masse gleich, und die einzige Tendenz, welche der Krystall vermöge seiner

Digitized by Google

Magnekrystallität behält, ist die, sich um eine Verticalaxe zu drehen, bis er in dem Magnetfelde seine natürliche Lage angenommen hat.

2576. Eine höchst wichtige Frage hinsichtlich der Magnekrystallkraft ist zunächst die, ob diese Kraft eine dem Wismuthkrystall u. s. w. ursprünglich inwohnende oder eine durch magnetischen oder elektrischen Einfluſs hervorgerufene sey. Wenn ein weiches Eisen in die Nähe eines Magnets gebracht wird, erlangt es neue Fähigkeiten und Eigenschaften. Einige nehmen an, dieſs beruhe auf einer durch Vertheilung (*induction*) erregten neuen Kraft in dem Eisen und dessen Theilchen, von gleicher Natur mit der des erregenden (*inducing*) Magnets; Andere halten dafür, jene Kraft sey ursprünglich in den Eisentheilchen vorhanden, und die inductive Action bestehe nur in einer Anordnung aller elementaren Kräfte zu einer gemeinschaftlichen Richtung. Auf den Wismuthkrystall kann die letztere Annahme nicht in gleicher Weise angewandt werden, denn alle seine Theilchen sind schon vorher geordnet, und es ist eben diese Anordnung, wodurch er seine Kräfte erlangt. Wenn die Theilchen einer Substanz sich in der Verworrenheit (*heterogeneous condition*) befinden, welche die des Eisens in seinem unmagnetischen Zustand besitzen, so mag die Magnetkraft den magnetischen und auch diamagnetischen Zustand, welcher wahrscheinlich ein Inductionszustand ist, entwickeln; allein es erhellt nicht sogleich, daſs sie auch einen Zustand wie den hier betrachteten erregen könne.

2577. Daſs die Theilchen ihre Eigenthümlichkeit zu groſsem Maaſse in allen Resultaten bewahren, geht aus der Betrachung hervor, daſs sie eine inwohnende Fähigkeit oder Kraft, die Krystallisationskraft, besitzen, welche so standhaft ist, daſs sie sich durch keine Behandlung verändern läſst, daſs es eben diese Kraft ist, welche, indem sie den Theilchen eine regelmäſsige Lage in der Masse giebt, sie auch befähigt, gemeinschaftlich auf den Magnet oder elektrischen Strom zu wirken oder eine Einwirkung von

ihnen zu erleiden; und daſs wenn die Theilchen nicht so angeordnet sind, sondern verworren in der Masse liegen, die Summe ihrer Kräfte nach auſsen Null ist und keine inductive Einwirkung des Magnets oder elektrischen Stroms die geringste Spur von den Erscheinungen zu entwickeln vermag.

2578. Und daſs die Theilchen selbst vor ihrer Krystallisation, vermöge der Krystallisationskraft, einigermaſsen in die Ferne wirken können, wird, glaube ich, durch die folgende Thatsache dargethan. Eine Flasche enthaltend etwa ein Quart Glaubersalz-Lösung von solcher Concentration, daſs sie nach Erkalten bei Berührung mit einem Krystall des Salzes oder einem anderen Körper krystallisirte, wurde eine Woche oder länger ruhig stehen gelassen. Die Lösung war klar geblieben, allein als man die Flasche berührte, erfolgte mit einem Male durch die ganze Masse eine Krystallisation in klaren, gesonderten durchsichtigen Tafeln von mehr als einem Zoll in Länge und einem halben Zoll in Breite und einer Dicke von vielleicht $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{60}$ Zoll. Sie alle waren horizontal und mithin einander parallel, und hatten, wenn ich mich recht erinnere, ihre Länge in gleicher Richtung; auch waren sie in jedem Theil der Flasche von gleichem Charakter und anscheinend in gleicher Menge vorhanden. Beim Umkippen der Flasche hielten sie fast die Flüssigkeit zurück, und als diese abgelassen ward, boten sie ein schönes und gleichförmiges Haufwerk von Krystallen dar. Dieses Ergebniſs überzeugte mich damals, daſs wiewohl der Einfluſs eines gelösten und krystallisirenden Theilchens unmittelbar und hauptsächlich auf seine Nachbaren gerichtet ist, er sich doch auch darüber hinaus erstrecken müsse, weil sonst die ganze Masse der Lösung schwerlich in einen so gleichförmigen Krystallisationszustand gerathen seyn könne. Ob die Horizontalität der Platten zu der fast verticalen Richtung der Kraftlinien des Erdmagnetismus, die während der ganzen Ruhezeit die Lösung durchschnitten, irgend eine Beziehung habe, ist mehr als ich zu sagen wage.

2579. Folgendes sind Betrachtungen, welche auf die

Digitized by Google

groſse Frage (2576) von einem ursprünglichen oder hervorgerufenen Zustand hinzielen.

2580. Zunächst bringt das Wismuth aus dem Magnefelde keine Kraft oder keinen besonderen Zustand mit, vermöge dessen es auf einen Magnet wirkte (2504); wenn also der Zustand des Krystalls ein inductiver ist, ist er wahrscheinlich ein vorübergehender, der nur während der Induction besteht. Die Thatsache also, obwohl eine negative, stimmt, soweit ihre Beweiskraft reicht, mit jener Voraussetzung überein.

2581. Wenn ferner der Effect, so weit er den Krystall betrifft, ganz aus einer ursprünglichen, der Masse innewohnenden Kraft entspränge, so stände zu erwarten, daſs der Magnetismus der Erde oder eines anderen schwachen Magnets auf den Krystall einwirkte. Freilich muſs eine schwache Magnetkraft so gut als eine starke einen gegebenen Zustand in einem Wismuthkrystall induciren, nur verhältniſsmäſsig; allein wenn der gegebene Zustand dem Krystall inhärent wäre, und in seinem Betrage sich nicht änderte durch die Stärke der einwirkenden Magnetkraft, so müſste eine schwache Magnetkraft entschiedener auf das Wismuth wirken als im Fall der Zustand desselben ein inducirter, und nur der Stärke dieser Kraft proportional wäre. Was auch der Werth dieses Arguments seyn mag, so wurde ich doch dadurch veranlaſst, den Versuch über den Einfluſs der Erde (2505) sehr sorgfältig zu wiederholen. Ich hing Krystalle in kleinen Flaschen auf, stülpte gröſsere darüber und machte diesen Versuch an einem unterirdischen Orte von gleichförmiger und constanter Temperatur, so daſs jeder Luftzug ausgeschlossen war, und der Krystall den schwächsten Torsionsgraden, die man den Aufhängefaden oben durch den Zeiger gab, folgen konnte. Unter diesen Umständen konnte ich keine Richtkraft unter dem Einfluſs der Erde erhalten, weder mit Wismuth- noch mit Eisenvitriolkrystallen. Vielleicht möchte sie unter dem Aequator, wo die Kraftlinien, horizontal sind wahrnehmbar werden.

Digitized by Google

2582. Angenommen drittens, es sey in den Krystallen und dessen Molecülen eine ursprüngliche Kraft vorhanden, so lieſse sich erwarten, daſs sie, unabhängig von der Magnetkraft, eine directe Wirkung auf einander ausüben, und wäre dieſs der Fall, so hätte man den best möglichen Beweis, daſs die im Magnetfelde geäuſserte Kraft eine inhärente sey. Allein als ich einen groſsen Krystall mit seiner Magnekrystallaxe horizontal unter oder neben einen aufgehängten kleineren legte, konnte ich kein Zeichen von gegenseitiger Einwirkung wahrnehmen, selbst dann nicht als die nahe gelegten Theile der Krystalle abgeschliffen oder fortgelöst worden waren, um die beiden Krystalle mit groſsen Flächen möglichst nahe an einander zu bringen. Solche Versuche (2581) erfordern eine groſse Sorgfalt, sonst entstehen Resultate, die eine Wechselwirkung der Krystalle anzudeuten scheinen.

2583. Ebenso wenig konnte ich eine Spur von Wechselwirkung zwischen Krystallen von Wismuth oder Eisenvitriol auffinden, wenn beide im Magnetfelde waren, und der eine frei schwebte, während der andere in verschiedenen Lagen ihm nahe war.

2584. Aus der Abwesenheit oder ungemeinen Schwäche irgend einer Wechselwirkung zwischen den Krystallen, so wie aus der Wirkung der Wärme, die den Krystallen, bevor sie ihren krystallinischen Zustand verloren haben, jedes Vermögen raubt (2570), bin ich zu glauben veranlaſst worden, daſs die Kraft, welche der Krystall im Magnet felde durch seine Bewegung äuſsert, hauptsächlich und fast gänzlich *inducirter* Natur ist, freilich abhängig von der Krystallkraft und ihr zuletzt hinzutretend, aber sie zugleich erhöhend zu einem Grade, den sie ohne Induction nicht erreicht haben würde.

2585. In diesem Falle müſste die Kraft wahrscheinlich eine magnekrystallische genannt werden, da sie unter dem Einfluſs des Magnets erzeugt oder entwickelt wird. Ich gebrauche das Wort magnekrystallisch, um damit anzudeuten, daſs sie, wie ich glaube, dem Krystall selber ange-

Digitized by Google

hört, und in diesem Sinn spreche ich auch von Magnekrystallaxe u. s. w.

2586. Diese Kraft scheint mir von einem sehr seltsamen und auffallenden Charakter zu seyn. Sie ist nicht polar, denn sie bewirkt weder Anziehung noch Abstoſsung. Allein von welcher Natur ist dann die mechanische Kraft, welche den Krystall herumdreht (2460) oder ihn auf einen Magnet wirken läſst (2564)? Er ist nicht gleich einer Drahtrolle, auf welche Magnetkraftlinien wirken; denn dazu ist ein elektrischer Strom erforderlich, und jene Rolle besitzt die ganze Zeit hindurch Polarität, wird kräftig angezogen oder abgestoſsen [1]).

2587. Nehmen wir für einen Moment an, die axiale Lage sey diejenige, in welcher der Krystall nicht afficirt wird und es sey die schiefe Lage, in welcher die magnekrystallisch axiale Richtung afficirt und polar wird, zwei Spannungen gebend, welche den Krystall herumziehen; so müſsten zu diesen Zeiten Anziehungen vorhanden seyn, und ein schief dargebotener Krystall müſste von einem einzigen Pol oder von dem nächsten unter beiden angezogen werden; aber eine Wirkung der Art ist nicht vorhanden.

2588. Oder wir könnten annehmen, der Krystall wäre in Richtung der Magnekrystallaxe etwas mehr für magnetische Induction oder etwas weniger für diamagnetische Induction empfänglich als in anderen Richtungen. Allein, wenn dem so wäre, so würden magnetische Körper, wie Eisenvitriol (2557, 2583) sicherlich polare Anziehungen äuſsern und diamagnetische Körper, wie Wismuth, einen Unterschied in dem Grade der Abstoſsung zeigen, wenn sie mit der Magnekrystallaxe parallel oder winkelrecht den Magnekraftlinien dargeboten werden (2552), was aber nicht der Fall ist.

2589. Ich erinnere mich bisher keiner Kraft, wie die gegenwärtige, durch welche ein Körper, ohne Anziehung oder Abstoſsung, nur in eine Richtung gebracht wird.

2590. Ist die Kraft eine inducirte, so muſs sie, im

1) Vielleicht finden diese Punkte ihre Erklärung in der Wirkung anliegender Partikel (1663, 1710, 1729, 1735, 2443).

Digitized by Google

Allgemeinen, der sie inducirenden gleich seyn, und diese sind bis jetzt die magnetische und elektrische Kraft. Ist sie, inducirt, der Krystallisationskraft unterworfen (2577), so muſs zwischen ihr und dieser eine innige Beziehung stattfinden. Welche Hoffnungen also, daſs die Resultate uns noch zur vollen Erkenntniſs dieser Kräfte (2146), ihrer Verknüpfungen mit den Körpertheilchen und ihrer Wirkungsweisen führen werden.

2591. Ich kann nicht unterlassen, über diese Erscheinungen noch eine andere Ansicht auszusprechen, die möglicher Weise die richtige ist. Die Magnekraftlinien lassen sich vielleicht als einigermaſsen den Strahlen des Lichts, der Wärme u. s. w. ähnlich betrachten, und sie mögen beim Durchgang durch die Körper eine Schwierigkeit finden, wie es mit dem Lichte der Fall ist. Sie mögen z. B. einen krystallisirten Körper in Richtung der Magnekrystallaxe freier oder ungehindert durchdringen als in anderen Richtungen. In diesem Falle wäre die Lage, welche der Krystall mit seiner Magnekrystallaxe den Magnekraftlinien parallel im Magnetfelde annimmt, die Lage des kleinsten oder nullgleichen Widerstands und deshalb die Lage der Ruhe und des stabilen Gleichgewichts. Alle diametralen Effecte würden mit dieser Ansicht übereinstimmen. Denn gerade, was die optische Axe für einen polarisirten Lichtstrahl ist, nämlich die Richtung, in welcher dieser nicht afficirt wird, das würde die Magnekrystallaxe für die Magnekraftlinien seyn. Wenn dieſs der Fall wäre, dürften wir auch hoffen, bei krystallisirten Körpern eine Reihe von auf Verzögerung und Richtungs-Einfluſs beruhenden Erscheinungen zu entdecken, welche den schönen Licht-Erscheinungen in solchen Körpern parallel gingen. Indem ich diese Voraussetzung mache, vergesse ich nicht die Trägheit und das Moment; allein die Idee, die ich mir von der Trägheit mache, schlieſst die obige Ansicht nicht als unvereinbar damit aus; überdieſs erinnere ich daran, daſs wenn ein Magnetpol und ein von einem elektrischen Strom durchflossener Draht so befestigt werden, daſs der

eine

Digitized by Google

eine sich nicht ohne den anderen drehen kann, der eine, wenn man den anderen zur Axe macht, diesen umkreiset und mit sich führt; und auch, daſs ein Magnet, wenn er im Quecksilber schwimmt und einen elektrischen Strom hinableiet, umherkreist vermöge der Kräfte, die *innerhalb* seiner Masse sind. Bei meinen unvollkommenen mathetischen Kenntnissen scheint mir in diesen Bewegungen ebenso viel Schwierigkeit zu liegen als in der von mir vorausgesetzten und daher wage ich die Idee auszusprechen [1]). Die Hoffnung auf ein polarisirtes Bündel von Magnetkräften ist an sich genügend, um ernsthaft sich mit Darstellung desselben zu befassen; ich kann wohl sagen, daſs Keiner, bei gehöriger Geschicklichkeit, Unpartheilichkeit und Vorsicht, in diesen Untersuchungen vergebens arbeiten wird.

2592. In einem früheren Aufsatz (2469) habe ich schon auf Plücker's schöne Entdeckung der Abstoſsung der optischen Axe gewisser Krystalle durch den Magnet [2]) verwiesen, und sie unterschieden von meiner eigenen beim Wismuth, Antimon und Arsen, welche nicht Fälle von Abstoſsung oder Anziehung darstellen; ich glaube nun mit Plücker, daſs die dort auftretende Kraft eine der optischen Axe angehörige ist, die sich in aequatorialer Richtung äuſsert, also winkelrecht auf der, welche die magnekrystallischen Erscheinungen hervorbringt.

2593. Allein die Beziehungen *beider* zum krystallinischen Gefüge und folglich zu der Kraft, welche dieses bewirkt, sind einleuchtend. Auch andere Betrachtungen, hinsichtlich der Lage, Einstellung und Drehung, zeigen, daſs die beiden Kräfte in ihren Beziehungen zur magnetischen und diamagnetischen Kraft sehr verschieden sind. Da demnach einerseits die strenge Gleichheit und andererseits die Verschiedenheit beider Klassen von Erscheinungen klar ist, so will ich sie vergleichen, um zu sehen ob nicht die bei ihnen wirkende Kraft identisch sey.

2594. Ich hatte den Vortheil die Resultate Plücker's

1) Siehe Note am Ende (2639).

2) Pogg. Ann. Bd. 72 (Oct. 1847).

Digitized by Google

unter dessen persönlicher Anleitung beim Turmalin, Staurolith, rothem Cyaneisenkalium und Kalkspath bestätigt zu sehen. Seitdem habe ich, besonders rücksichtlich der vorliegenden Arbeit, den Kalkspath sorgfältig untersucht, da er ein unmagnetischer und zugleich in krystallischer Beziehung so einfacher Körper ist, daſs er nur eine optische Axe besitzt.

2595. Hängt man ein kleines Rhomboëder, etwa 0,3 Zoll in gröſster Dimension, mit seiner optischen Axe horizontal zwischen den zugespitzten, und einander möglichst genäherten Polen eines Elektromagnets auf, so stellt es sich in aequatoriale Richtung und die optische Axe fällt mit der magnetischen zusammen; rückt man aber die Pole 6 oder 9 Linien aus einander, so dreht sich das Rhomboëder um 90° und stellt sich mit der optischen Axe aequatorial, also mit der gröſsten Länge axial. Im ersten Fall hat die diamagnetische Kraft das Uebergewicht über die Kraft der optischen Axe, im letzteren ist es umgekehrt.

2596. Um den diamagnetischen Einfluſs zu entfernen, wandte ich flache Pole an (2463); jetzt stellte sich das kleine Rhomboëder immer mit der optischen Axe aequatorial oder vibrirte um diese Lage.

2597. Hierauf nahm ich drei Würfel aus Kalkspath, respective von 0,3, 0,5 und 0,8 Zoll in Seite, deren optische Axen auf zwei der Flächen rechtwinklich waren, und brachte sie nach einander in das Magnetfeld, entweder zwischen flachen oder spitzen Polen. In allen Fällen ging die optische Axe, wenn sie horizontal war, in die aequatoriale Lage, und wenn sie vertical stand, hatten die Würfel keine Richtkraft. Durch die Methode zweier Lagen (2470) war es leicht, die Kraftlinie zu finden, bei deren Verticalität die Masse nicht vom Magnet afficirt ward und bei deren Horizontalität sie in die aequatoriale Lage ging. Eine Untersuchung der Würfel im polarisirten Lichte zeigte, daſs diese Linie mit der optischen Axe zusammenfiel.

2598. Selbst der Hufeisenmagnet (2485) ist stark genug, um diese Erscheinungen hervorzubringen.

Digitized by Google

2599. An zwei ähnlichen Würfeln von Bergkrystall (1692) konnte ich keine Spur von Erscheinungen wahrnehmen, die eine magne-optische, oder magnekrystallische oder sonst eine Beziehung zum Krystallgefüge der Masse gehabt hätten.

2600. So ist also vollkommen gewiſs, daſs es im Kalkspathkrystall eine mit der optischen Axe zusammenfallende Linie giebt, welche die Resultante der den Krystall im Magnetfelde in eine bestimmte Lage bringenden Kräfte ist, und eben so gewiſs ist, daſs diese Lage eine aequatoriale ist. Dennoch, scheint sie mir als Kraftlinie, d. h. als Richtung der Kraft, welche den Krystall in jene Lage bringt, etwas Anomales zu haben. Denn, daſs eine richtende und bedingende Kraft*linie* zu ihrem vollen Effect das Resultat haben sollte, in eine *Ebene* (die aequatoriale) zu gehen, in welcher sie eine Unzahl verschiedenartiger Lagen annehmen könnte, hat etwas Unbefriedigendes, und erweckt den Gedanken, daſs irgend ein anderer Effect oder sonst noch ein Phänomen zu erforschen und zu erklären übrig bleibe.

2601. Bei fernerer Betrachtung scheint, daſs eine bloſse Combination der Magnekrystallität, wie sie im Wismuth existirt, uns eine vollkommene Vorstellung von dem Zustand des Kalkspaths geben werde; denn bringt man zwei Wismuthstücke mit ihren Magnekrystallaxen rechtwinklich gegen einander (2484), so hat man ein System von Kräften, welche, als Resultante, eine in die aequatoriale Richtung einspielende Linie zu besitzen scheint. Wenn diese Linie vertical ist, hat das System keine Richtkraft; ist sie aber horizontal, so stellt es sich mit derselben in die aequatoriale Ebene. Dennoch hat die wahre Kraft nicht eine aequatoriale, sondern die axiale Richtung; und das System bewegt sich eher durch eine, so zu sagen, *Ebene axialer Kraft* (hervorgehend aus dem Vereine zwei zu einander rechtwinklicher Axen) als durch eine *Linie aequatorialer Kraft*.

2602. Ohne Zweifel ist das Rhomboëder oder der Würfel (2597) von Kalkspath kein zusammengesetzter Krystall

Digitized by Google

wie das eben (2601) erwähnte System von Wismuthkrystallen; allein die Molecule desselben könnten eine zusammengesetzte Anordnung ihrer Kräfte besitzen, könnten zwei oder mehre Axen haben, die, während sie die krystallinische Structur bedingten, gegen den Magnet eine solche Kraft äufserten, dafs die Resultate gleicher Art und Weise wären, wie bei dem Doppelkrystall von Wismuth (2601). Dafs es im Kalkspath- oder Wismuththeilchen nur eine Axe von Krystallkraft gebe, scheint mir in der That mit der Spaltbarkeit der Substanzen in drei und mehr Richtungen nicht verträglich zu seyn.

2603. Die optische Axe eines Kalkspathstücks ist einfach die Linie, in welcher ein polarisirter oder gemeiner Lichtstrahl am wenigstens afficirt wird. Sie mag, als Resultante der Molecularkräfte, eine Linie schwächster Intensität seyn, und sicher ist ein Stück Kalkspath, für die gewöhnlichen und mechanischen Mittel zur Beobachtung der Cohäsion, viel härter an den Flächen und Stellen, welche der optischen Axe parallel sind, als an den darauf winkelrechten. Eine gewöhnliche Feile oder ein Stück Sandstein erweist dieses. So wie also die zur optischen Axe aequatoriale Ebene Richtungen vorstellt, in welchen die Krystallisationskraft stärker ist als in Richtung der optischen Axe, so mag sie auch diejenige seyn, in welcher die Resultante der Magnekrystallkraft ausgeübt wird.

2604. Als einigermafsen im Widerspruch mit diesen Betrachtungen mufs ich sagen, dafs beim Wismuth, Antimon und Arsen die Spaltbarkeit winkelrecht auf der Magnekrystallaxe eine sehr leichte ist (2475. 2510. 2532.) Allein es ist daran zu erinnern, dafs die Spaltbarkeit (und deshalb die Cohäsion) nicht das Einzige ist, was in Betracht kommt; denn beim Kalkspath fällt sie weder mit der aeqatorialen, noch mit der axialen Richtung desselben im Magnetfelde zusammen; zum vollen Verständnifs aller dieser Punkte müssen wir auch den polaren (oder axialen) Zustand der Theilchen der Massen in Betracht ziehen.

2605. Ich bin auch genöthigt zuzugeben, dafs, wenn

man zwei Kalkspathkrystalle mit ihren optischen Axen rechtwinklich auf einander zusammenfügt, man ein System erhält, welches in Richtung der Kraft das Wismuth getreu darstellt, d. h. welches im Magnetfelde anscheinend nur eine Kraftlinie und zwar in axialer Richtung zeigt, während es in Wahrheit durch ein System von zwei in aequatorialer Ebene liegenden Kräften bewegt wird. Ich will für jetzt nicht behaupten, dafs diefs nicht der Zustand der Dinge sey; allein ich glaube, dafs die Metalle, Wismuth, Antimon und Arsenik, gleich wie sie uns die stärksten Fälle, so auch die einfachsten von Magnekrystallkraft darbieten. Wie dem aber auch sey, so bin ich doch der Meinung, dafs die von Plücker entdeckten und die von mir in diesen beiden Abhandlungen beschriebenen Erscheinungen einen gemeinschaftlichen Ursprung haben.

2606. Bei den Plücker'schen Krystallen (Kalkspath, Turmalin, rothem Cyaneisenkalium) wiederholte ich in Bezug auf die Frage über die Ursprünglichkeit oder Einpräglichkeit der Kraft (2576) alle früheren Versuche und Betrachtungen und kam zu demselben Schlufs wie damals (2584).

2607. Ich konnte nicht finden, dafs Krystalle von rothem Cyaneisenkalium oder Turmalin vom tellurischen Magnetismus afficirt werden (2581) oder auf einander wirken (2582). Ebenso wenig konnte ich finden, dafs der von Plücker beim Kalkspath und rothen Cyaneisenkalium beobachtete Effect ein attractiver oder repulsiver sey; er ist nur ein richtender (2550. 2560). Alle diese Umstände überzeugten mich, dafs die bei seinen und bei meinen Versuchen wirksame Kraft eine und dieselbe ist [1]).

2608. Ein kleines Kalkspathrhomboëder wurde im Magnetfelde so stark erhitzt, als es mit einer Weingeist-

1) Die optische Axe ist die Richtung schwächster optischer Kraft, und, nach Plücker's Versuchen, coïncidirt sie mit dem, was ich in meinen Resultaten als die Richtung des Minimums der Magnekrystallkraft ansehe. Mehr als wahrscheinlich ist, dafs, wo man beide Reihen von Effecten (seyen sie wahrhaft oder nur nominell verschieden) an einem und demselben Körper beobachten kann, die Richtung des Maximum-Effects mit der des Minimum-Effects zusammenfällt.

Digitized by Google

lampe möglich ist (2570), wenigstens bis zur vollen Rothgluth des Kupfers; allein es richtete sich so gut wie zuvor. Ein kurzer dicker Turmalin, bis zu demselben Grade erhitzt, stellte sich ebenfalls gut ein. So wie er erkaltete, ward er indeſs stark magnetisch, und schien für Versuche in niederer Temperatur ganz unbrauchbar geworden zu seyn; allein als er einige Sekunden in Königswasser digerirt und dadurch etwas Eisen von seiner Oberfläche fortgenommen worden war, stellte er sich gut, wie zuvor, übereinstimmend mit dem Plücker'schen Gesetz. Durch die Flamme und Hitze war an der Oberfläche ein wenig Oxyd zu Oxydul reducirt und dieſs hatte den Magnetismus veranlaſst.

2609. Es giebt eine allgemeine und, wie mir scheint, wichtige Beziehung zwischen Plücker's magneto-optischen Resultaten und denen, die ich früher mit schwerem Glase und anderen Körpern erhielt (2152 etc.). Wenn diese Körper dem Einfluſs starker magnetischer oder elektrischer Kräfte ausgesetzt werden, so gerathen sie in einen besonderen Zustand, in welchem sie auf einen polarisirten Lichtstrahl einzuwirken vermögen. Die Wirkung besteht in einer Drehung des Strahles, wenn er parallel den Magnekraftlinien oder, anders gesagt, in axialer Richtung durch den Körper geht; geht er aber in aequatorialer Richtung, so erfolgt keine Wirkung. Die aequatoriale Ebene ist also diejenige, in welcher der Zustand der Molecularkräfte hinsichtlich ihres Einflusses auf das Licht am wenigsten gestört wird. So auch in Plücker's Resultaten: Die optische Axe oder, wenn deren zwei da sind, die optischen Axen stellen sich unter magnetischem Einfluſs in jene Ebene und sind auch die Linien, in welchen die Wirkung auf polarisirtes Licht am schwächsten oder Null ist.

2610. Könnte ein Stück schweres Glas oder eine Portion Wasser, vor der Aufhängung im Magnetfelde, in diesen Zwangszustand versetzt werden, so würde es sich bei freier Beweglichkeit so stellen, daſs die Ebene ohne Wirkung auf das Licht aequatorial zu stehen käme, gerade wie

Digitized by Google

es mit einem Kalkspath oder Turmalin in Plücker's Versuchen der Fall ist. Und so wie hierbei der magnetische oder diamagnetische Charakter keinen Unterschied in dem allgemeinen Resultat bedingt, so ist auch bei meinen Versuchen der optische Effect bei beiden Klassen von Substanzen von gleicher Richtung und gleichen Gesetzen unterworfen (2185. 2187).

2611. Trotz dieser allgemeinen Gleichheit in der Hauptsache ist doch, was Anordnung der Kräfte betrifft, eine sehr groſse Verschiedenheit im Krystall und schwerem Glase vorhanden, und eine noch gröſsere besteht darin, daſs das schwere Glas seinen Zustand nur während der Induction durch Zwang annimmt, während der Krystall denselben ungezwungen, natürlich und permanent besitzt. In beiden Fällen ist jedoch der Zustand, sey er natürlich oder aufgedrungen (*induced*), ein Zustand der Theilchen, und der Vergleich der Wirkung des Lichts auf das Glas unter Zwang und auf den Krystall in Natürlichkeit zeigt, daſs der Magnet ein Vermögen hat, den Körpertheilchen, selbst den Flüssigkeitstheilchen (2184), etwas Aehnliches wie das zur Krystallisation Erforderliche, einzuprägen (*induce*).

2612. Wenn diese Betrachtungen irgend Werth haben, und wenn die vom Wismuth- und Kalkspathkrystall geäuſserten Kräfte gleich sind (2607), so steht ferner zu glauben, daſs in dem Wismuth und ähnlichen Metallen, wenn sie der Kraft eines Magnets unterworfen sind, zugleich eine eingeprägte (*induced*) (2584) und eine präexistirende Kraft (2577) vorhanden ist. Die letztere mag als die Krystallisationskraft unterschieden werden und läſst sich nachweisen zuerst durch solche Körper, die, ohne unter Induction zu stehen, optische Axen und Kraftlinien zeigen, dann durch die Symmetrie der ganzen Masse und die Festigkeit der Magnekrystallkraftlinien in Körpern, welche dieselbe experimentell besitzen.

2613. Ich habe von der Magnekrystallaxe als von einer gegebenen Linie oder Richtung gesprochen; ich wünschte jedoch nicht so verstanden zu seyn, als setzte ich voraus,

Digitized by Google

daſs rings um dieselbe die Kraft abnehme oder der Zustand sich ändere in gleichem Verhältniſs. Wahrscheinlich ist vielmehr, daſs die Veränderung verschieden ist in verschiedenen Richtungen, je nach den Kräften, die den Krystallen Gestaltverschiedenheiten geben. Die Anordnung der Kraft mag späterhin genau ermittelt werden durch Anwendung guter Krystalle, eines unveränderlichen Stahlmagnets (2485, 2528) oder eines regulirten Elektromagnets, flachseitiger Pole (2463) und Torsion (2500. 2530).

2614. Ich kann diese Reihe von Untersuchungen nicht schlieſsen, ohne bemerklich zu machen, wie rasch unsere Kenntniſs von den Molecularkräften wächst, wie schlagend jede Forschung uns deren Wichtigkeit mehr entfaltet und deren Studium anziehender macht. Vor wenig Jahren noch war uns der Magnetismus eine dunkle, nur auf wenige Körper wirkende Kraft; jetzt wissen wir, daſs er auf alle Körper wirkt und in innigster Beziehung steht zur Elektricität, Wärme, chemischen Action, zum Licht, zur Krystallisation, und, durch diese wiederum, zu den Cohäsionskräften. Bei solchem Zustande der Dinge mögen wir uns wohl angetrieben fühlen, unsere Arbeiten fortzusetzen, ermuthigt durch die Hoffnung, den Magnetismus selbst mit der Gravitation in Verbindung zu setzen.

Royal Institution, 20. Oct. 1848.

VI. Zusatz. Ueber die Lage eines Eisenvitriolkrystalls im Magnetfelde.

2615. Wiewohl Effecte der folgenden Art allgemein sind, so glaube ich doch angeben zu müssen, daſs ich sie hauptsächlich bei Anwendung von Magnetpolen (2247) erhalten habe, deren Grundriſs und Seitenansicht in Fig. 6 Taf. I. gegeben sind. Die ihrer Wirkung ausgesetzten Krystalle wurden an Coconfäden aufgehängt, so, daſs sie mit der oberen Fläche der Pole im Niveau schwebten.

2616. Es wurde ein prismatischer Eisenvitriol-Krystall ausgewählt, der 0,9 Zoll lang, 0,1 Zoll breit und 0,05

Zoll dick war; seine Magnekrystallaxe coïncidirte mit der Dicke und war daher ganz oder fast parallel der Tafel (2546). Als er wie oben beschrieben aufgehängt, und der Magnet (2247) durch zehn Grove'sche Plattenpaare erregt worden, stellte er sich transversal oder mit seiner *Magnekrystallaxe* parallel der Magnetaxe, sobald der Abstand zwischen den Polen 2,25 Zoll oder mehr betrug; war aber dieser Abstand nur 2 Zoll oder weniger, so stellte er sich mit seiner Länge axial, oder beinahe so, und seine Magnekrystallaxe also quer gegen die Magnetkraftlinien. Bei Abständen zwischen 2 und 2,25 Zoll nahm das Prisma mehr oder weniger schiefe Lagen (2634) gegen die axiale Linie an, und so ging es allmälig von einer Lage in die andere über. Diesen intermediären Abstand will ich für jetzt den *n* (neutralen) Abstand nennen.

2617. Wurde, bei 2 Zoll Abstand der Pole, der Krystall langsam herabgelassen, so ging er durch dieselben intermediären schiefen Lagen in die transversale über, und dasselbe erfolgte, als er gehoben wurde; bei jedem kleineren Abstande erfolgten dieselben Uebergänge, nur später. Sie traten beim Heben des Krystalls rascher ein als beim Senken, doch nur wegen der Unsymmetrie in der Anordnung und Intensität der Magnetkraftlinien rings um die Magnetaxe, in Folge der Hufeisenform des Magnets und der Gestalt der Pole. Wären zwei Cylindermagnete mit konischen Polen angewandt worden, würden ohne Zweifel die entsprechenden Veränderungen in der Lage des Krystalls bei gleichen Hebungen und Senkungen eingetreten seyn.

2618. Diese Veränderungen rühren nicht bloſs her von Abnahme der Magnetkraft mit der Ferne, sondern auch von Unterschieden in der Form und Richtung der Kraftresultanten. Dieſs geht daraus hervor, daſs wenn der Krystall in der ersten Lage, wo er seine Länge axial stellt, gelassen wird, keine Verringerung der Magnetkraft diese Lage ändert. So bleibt der *n* Abstand (2616) ungeändert, man mag zur Erregung des Magnets ein oder zehn Grove'sche

Digitized by Google

Paare anwenden, ja selbst zum Gebrauch eines gewöhnlichen Hufeisenmagnets hinabsteigen.

2619. Veränderungen in der Länge des prismatischen Krystalls haben einen bedeutenden Einfluſs auf das Resultat. Je kürzer der Krystall, desto kleiner der *n* Abstand, während alle übrigen Erscheinungen gleich bleiben. Ein 0,7 langer Krystall, der aber dicker als der letzte war, hatte als Maximum des *n* Abstandes 1,7 Zoll. Ein noch kürzerer Krystall hatte das Maximum des *n* Abstandes bei 1,1 Zoll. In allen diesen Fällen bewirkte eine Aenderung der Stärke des Magnets keine merkliche Verschiedenheit.

2620. Eine Veränderung in der mit der Magnekrystallaxe zusammenfallenden Dimension des Krystalls wirkt ein auf den *n* Abstand; eine Vergröſserung der Länge der Magnekrystallaxe verringert diesen Abstand, und eine Verkürzung jener, vergröſsert diesen. Dieſs zeigte sich auf zweierlei Weise, erstlich, indem man neben dem früheren Krystall einen zweiten in symmetrischer Lage anbrachte (2636), wodurch der *n* Abstand auf 1,75 bis 2 Zoll herabgebracht ward, und zweitens, indem man nach einander zwei Krystalle von gleicher Länge, aber verschiedener Dicke anwandte. Der dickere hatte den kleineren *n* Abstand.

2621. Eine Veränderung in der Dicke d. h. senkrechten Dimension des Krystalls hatte keinen merklichen Einfluſs auf den *n* Abstand, kann es auch theoretisch nicht haben, so lange nicht die Ausdehnung auf- und abwärts die oberen und unteren Theile in die Bedingung des Hebens und Senkens versetzt (2617).

2622. Eine Veränderung in der Form der Pole wirkt ein auf den *n* Abstand. Je spitzer sie sind, je mehr wächst der Abstand; dagegen nimmt dieser ab, so wie sie stumpfer werden bis zur vollen Flachheit (2463).

2623. Bei kurzen Krystallen oder bei stumpfen Polen ist es oft nöthig die Kraft des Magnets zu verringern, weil sonst der Krystall leicht zu dem einen oder anderen Pol hingezogen wird. Dieſs kann jedoch durch Anwendung

Digitized by Google

einer oben und unten befestigten verticalen Axe (2554) vermieden werden, und dann zeigt sich, daſs eine Verschiedenheit in der *Stärke* des Magnets fast oder ganz gleichgültig ist für die Resultate.

2624. Diese Erscheinungen entspringen wahrscheinlich aus dem wesentlichen Unterschied, welcher zwischen der gewöhnlichen magnetischen und der magnekrystallischen Action besteht, in sofern die erste *polar* und die zweite nur *axial* ist (2472). Eine magnetische Substanz, Eisen z. B., in das Magnetfeld gebracht, wird sogleich polar, d. h. an den Enden verschiedenartig. Sind viele Eisentheilchen vorhanden, so werden sie alle polar, und bei freier Beweglichkeit ordnen sie sich axial, vereint mit einander durch entgegengesetzte Pole, und dadurch wird die Polarität der Theilchen an den Enden erhöht. Dieſs nun scheint durchaus nicht mit den unter Einfluſs der Magnekrystallkraft stehenden Theilchen der Fall zu seyn; die Kraft scheint gänzlich axial zu seyn, und daher wahrscheinlich der Unterschied in obigen und vielen anderen Resultaten.

2625. Hängt man z. B. vier oder mehre kleine Eisenwürfel in einem Magnetfelde von gleichmäſsiger Kraft (2465) auf, so werden sie polar; verfährt man ähnlich mit vier Würfeln von krystallisirtem Wismuth, so stellen sie sich ein. Fügt man die Eisenwürfel nach Richtung der aequatorialen Linie zusammen, so bilden sie ein Aggregat in instabiler Gleichgewichtslage, und sogleich drehen und stellen sie sich als Ganzes mit der Länge axial; die Wismuthwürfel erleiden dagegen durch solche Anordnung keine merkliche Aenderung.

2626. Die *äuſsersten* (und die übrigen) Eisenwürfel haben in der Längs-Anordnung eine stärkere Polarkraft als sie zuvor hatten, und die ganze Gruppe dient gleichsam als Conductor für die Magnetkraftlinien; denn viele derselben concentriren sich auf das Eisen, und zwischen den Enden der Würfelreihe und den Magnetpolen ist die In-

Digitized by Google

tensität der Kraft stärker als an anderen Stellen des Magnetfeldes. Dieſs ist nicht der Fall bei den Wismuthwürfeln; denn wie sie auch angeordnet seyn mögen, wird doch durch sie, so weit die bisherigen Versuche reichen, die Intensität der Kraft im Magnetfelde nicht abgeändert; auch scheint die Intensität der Krystallmolecule dieselben zu bleiben.

2627. Ein Stück Eisen in ein Feld von gleichmäſsiger Magnetkraft gebracht und einem der Pole genähert, haftet an diesem und stört die Intensität des Feldes, indem es einen spitzen Pol mit divergirenden Kraftlinien schafft. Ein Wismuthkrystall schwingt in jedem Theil des Feldes (2467) mit nahe gleicher Stärke und stört nicht die Vertheilung der Kraft.

2628. In Betracht aller dieser Vorgänge und Zustände scheint mir das Vorkommen des *n* Abstandes bei einem Körper, der zugleich magnetisch und diamagnetisch ist, sich zurückführen zu lassen auf das, was sie und ihre Unterschiede hervorruft, nämlich auf die *Polarität* des magnetischen Zustandes; und die *Axialität* des magnekrystallischen Zustandes. Gesetzt, man habe ein gleichförmiges Magnetfeld von drei Zoll zwischen den Polen und es sey in der Mitte desselben ein Stab aus magnetischer Substanz von einem Zoll in Länge aufgehängt; vermöge der Polarität, die er erlangt, wird er sich axial stellen, und mit seiner Masse die Magnetkraft fortführen oder leiten, weit besser als es derselbe Raum zuvor that, so daſs die Kraftlinien zwischen den Enden dieses Stabes und den Magnetpolen concentrirt und intensiver gemacht werden als sie sonst wo in dem Magnetfelde sind. Nähert man die Pole dem Stabe, so wird dieser Effect zunehmen und der Stab immer mehr Magnetkraft leiten, sich auch mit verhältniſsmäſsiger Stärke einstellen. Nicht bloſs das Magnetfeld wird intensiver durch Annäherung der Pole, sondern auch der vom Stabe fortgeführte Antheil der Kraft wird gröſser im Vergleich zu dem, welchen ein gleicher Raum des Magnefeldes daneben fortführt.

2629. Wird aber ein ähnlicher Stab von magnekry-

Digitized by Google

stallischer Substanz in das Magnetfeld gebracht, so steigt seine Kraft nicht in derselben Weise oder in so starkem Verhältniſs durch Annäherung der Pole. Es leidet keinen Zweifel, daſs nicht eine solche Annäherung die Intensität der Kraftlinien und deshalb auch die des magnekrystallischen Zustandes erhöhe; allein dieser Zustand scheint nicht von Polarität herzurühren, und der Stab leitet durch sich hin nicht mehr Kraft, als sonst durch einen gleichen Raum des Magnetfeldes fortgeführt wäre. Daher nimmt denn auch seine Richtkraft nicht so rasch zu, als die des eben erwähnten magnetischen Stabes.

2630. Nehmen wir nun einen Stab, der, wie ein Eisenvitriol-Prisma, zugleich magnetisch und magnekrystallisch ist, und seine Magnekrystallaxe winkelrecht auf seiner Länge zu liegen hat, so wird er, zweckmäſsig aufgehängt, einen *n* Abstand der Pole haben müssen, innerhalb dessen die Kräfte nahe im Gleichgewicht sind; bei einem gröſseren Abstande der Pole wird die Magnekrystallkraft überwiegen, bei einem geringeren Abstand die Magnetkraft; einfach deshalb, weil die Magnetkraft vermöge der wahren Polarität der Theilchen rascher wächst und rascher abnimmt als die Magnekrystallkraft.

2631. Diese Ansicht stimmt auch mit der Thatsache, daſs eine Veränderung der Kraft des Magnets den *n* Abstand nicht verändert (2618. 2619); denn wenn diese Kraft verdoppelt oder vervierfacht wird, werden auch zugleich die magnetische und die magnekrystallische Kraft verdoppelt und vervierfacht, und das Verhältniſs derselben bleibt ungeändert.

2632. Das Heben und Senken des Krystalls über oder unter die Linie des Maximums der Magnetkraft ist im Princip offenbar aequivalent mit der Trennung der Pole und deshalb muſs es entsprechende Wirkungen hervorbringen, wie es auch der Fall ist (2617). Ueberdieſs sind, wenn der Krystall über das Niveau der Krystalle gehoben ist, die durch ihn gehenden Resultanten der Magnetkraft nicht mehr seiner Länge parallel, sondern mehr oder weniger

Digitized by Google

gekrümmt, so daſs sie dann vermuthlich nicht mehr so kräftig wie bei paralleler Lage den ganzen Krystall in einem gehörig polaren magnetischen Zustand versetzen können; dagegen scheint, hinsichtlich der Erregung des magneto-krystallischen Zustandes, jedes Theilchen unabhängig von den übrigen afficirt zu werden, und deshalb ist hier von der vereinten Wirkung kein Verlust an Effect zu verspüren.

2633. Hr. Plücker erzählte mir, als er im August in England war, daſs die Abstoſsungskraft der optischen Axe, bei Veränderung des Abstandes, rascher ab- oder zunimmt als die Magnetkraft, allein in ihrem Verhältniſs zu letzterer nicht verändert wird durch Anwendung eines stärkeren oder schwächeren Magnets. Dieſs ist offenbar derselbe Effect als der eben beschriebene, und macht mich noch mehr überzeugt, daſs seine und meine Resultate aus einer und derselben Ursache entspringen (2605 2607).

2634. Ich habe gesagt, daſs der Eisenvitriol-Krystall sich, innerhalb des *n* Abstandes, mehr oder weniger schief einstellt (2616); ich will nun die Umstände specieller angeben. Wird der *n* Abstand so eingerichtet, daſs der zwischen den Magnetpolen schwebende prismatische Krystall einen Winkel von 30° (oder jeder Gröſse) mit der axialen Linie macht, so findet sich, daſs er noch eine andere stabile Lage annehmen kann, nämlich die diametrale (2641); allein daſs die Schiefe immer auf derselben Seite der axialen Linie liegt, und der Krystall nicht mit derselben Schiefe von 30° auf der anderen Seite der Magnetaxe einspielt.

2635. Eine Drehung des Krystalls von 180° um eine Verticalaxe ändert die Neigung und die anfängliche Richtung nicht; denn sie giebt dem Krystall nur eine diametrale Lage. Dreht man aber den Krystall 180° um eine horizontale Axe, entweder um die mit der Länge zusammenfallende, welche das Maximum der magnetischen Richtung vorstellt, oder um die der Breite entsprechende, welche

Digitized by Google

mit der Magnekrystallaxe coïncidirt, so bleibt zwar die Schiefe ihrem Betrage nach ungeändert, aber sie liegt auf der anderen Seite der axialen Linie.

2636. So verhalten sich alle prismatischen Eisenvitriolkrystalle, die ich untersucht habe. Der Effect ist sehr bestimmt; und wie zu erwarten, wenn zwei Krystalle in der Richtung ihrer Schiefe entsprechen, so entsprechen sie auch einander in der Lage ihrer Form und der Richtung ihrer verschiedenen Flächen.

2637. Alle diese Verschiedenheiten der Lage deuten auf eine schiefe Resultante der aus der vereinten Wirkung der magnetischen und der magnekrystallischen Kraft entspringenden Richtkraft; und sie würden sich erklären durch die Annahme, daſs die Magnekrystallaxe oder die Linie des Maximums der Magnekrystallkraft nicht winkelrecht ist auf den Hauptflächen (oder Endflächen) des Krystalls, sondern ein wenig geneigt in Richtung der Länge.

2638. Mag dieſs der Fall seyn oder auch die Maximum-Linie der Magnetkraft ein wenig gegen die Länge des Prismas neigen, so liefert doch der *n* Abstand eine vortreffliche experimentelle Gelegenheit, diese Neigung, wie klein sie auch seyn möge, zu untersuchen, da der Einfluſs der einen oder anderen in jedem erforderlichen Grade mit Leichtigkeit vorwaltend gemacht werden kann.

Royal Institution, 5 Dec. 1848.

2639. *Note.* (2591). Es läſst sich noch eine Voraussetzung aufstellen. Schon habe ich gesagt, daſs man die Einstellung ohne Anziehung und Abstoſsung durch die Annahme eines bloſs axialen Zustandes (2587. 2591) erklären würde. Gesetzt nun, es wäre möglich, die Molecule würden polar in Bezug auf den Nord- und Südpol des Magnets, *doch ohne Relation unter einander*, so könnte der Wismuth- oder anderweitige Krystall sich einstellen wie wenn er bloſs mit axialer Kraft begabt wäre; allein es scheint mir sehr unwahrscheinlich, daſs die Polaritäten eines gegebenen Theilchens in einem Krystall dem Einfluſs der Pola-

Digitized by Google

ritäten der entfernten Magnetpole unterworfen seyn sollten, und nicht auch den ähnlichen Polaritäten der benachbarten Theilchen.

III. *Vier und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Philosoph. Transact. f.* 1851.)[1])

§. 30. Ueber den möglichen Zusammenhang der Schwerkraft mit der Elektricität.

2702. Die lange und beständige Ueberzeugung, daſs alle Naturkräfte von einander abhängen, einen gemeinschaftlichen Ursprung haben oder vielmehr nur verschiedene Auſserungen Einer Grundkraft (2146) seyen, hat mich oft daran denken lassen, ob es nicht möglich sey, einen Zusammenhang zwischen Schwerkraft und Elektricität experimentell nachzuweisen, und somit die erstere einzureihen in die Gruppe, welche, auch Magnetismus, chemische Kraft und Wärme einschlieſsend, so viele und so verschiedenartige Kraftäuſserungen durch gemeinsame Beziehungen verknüpft. Obwohl meine Untersuchungen über diesen Gegenstand nur negative Resultate gegeben haben; so glaube ich doch, daſs eine kurze Angabe von dem Gegenstande wie er sich mir zuerst darbot, und von den Resultaten der Versuche, die anfangs sehr ermuthigend waren, aber bei sorgfältiger Nachspürung der Fehlerquellen sich auf ihren wahren Werth reducirten, nicht nutzlos seyn werden, sowohl um das Problem im Allgemeinen zu bezeichnen, als auch um Andere auf dasselbe aufmerksam zu machen.

2703. Beim Nachdenken über ein Princip, auf welches

1) Die 23. Reihe findet sich im Bd. 82 (S. 75 und 232) dieser Annalen.

Digitized by Google

ches eine experimentelle Forschung nach der Identität oder Relation zweier Kräfte gegründet werden könnte, schien es, daſs, wenn eine solche Relation existirte, etwas in der Schwerkraft liegen müſste, welches der dualen oder antithetischen Natur der Kraftformen in der Elektricität und dem Magnetismus entspräche. Mir schien es möglich, daſs das Fallenlassen (*ceding to the force*) oder Annähern gravitirender Körper einerseits, und die kräftige Umkehrung der Kraft oder die Trennung dieser Körper andererseits die Correspondenzpunkte darbieten möchten; Ruhe wäre (in Bezug auf Bewegung) der neutrale Zustand. Die endliche Unveränderlichkeit der Schwerkraft wäre einer solchen Voraussetzung nicht entgegen; denn bei Ruhe würden die wirkenden Körper immer dieselbe Beziehung zu einander haben, und nur während der Bewegung hin und her würde irgend ein mit der Elektricität verwandtes Resultat zu erwarten seyn. Solche Resultate, wären sie möglich, könnten nur äuſserst klein seyn, allein, wenn sie *möglich* d. h. wirklich wären, würden keine Worte den Werth der durch sie festgestellten Beziehung übertreiben können.

2704. Der Gedanke, auf welchem diese Versuche begründet wurden, war: daſs, während zwei Körper vermöge der Schwerkraft sich einander nähern, in ihnen oder in der umgebenden Materie elektrische Ströme in einer Richtung entwickelt, und wenn sie durch eine äuſsere Kraft von einander ab, gegen die Schwerkraft, bewegt würden, dergleichen Ströme in umgekehrter Richtung hervorgebracht werden könnten; ferner, daſs diese Ströme in Beziehung ständen zu der Linie des Näherns und Entfernens, und nicht zum Raum im Allgemeinen, so daſs zwei einander nähernde Körper Ströme von entgegengesetzter Richtung in Bezug auf den Raum hätten, aber, bezüglich ihrer Bewegung längs der sie verknüpfenden Linie, Ströme von gleicher Richtung. Es wäre unnöthig, weiter in die hieraus entspringenden Voraussetzungen einzugehen oder den Effect der gezwungenen, entweder mit der Gravitation der

Digitized by Google

Erde coïncidirenden oder sie durchkreuzenden Bewegungen zu betrachten; nur mag gesagt seyn, daſs, da der erwartete Effect jedenfalls ungemein klein seyn muſste, keine Hoffnung auf Erfolg anders als mittelst der Gravitation der Erde gehegt wurde. Zu dem einen Körper wurde also die Erde genommen, und mit irgend einem anderen der Versuch angestellt.

2705. Zunächst wurde der Körper, den man fallen lieſs, mit einer Drahtrolle umgeben, und dann der Effect seines Fallens beobachtet. Man kann dabei den Körper mit der Drahtrolle oder durch dieselbe fallen lassen. Es wurde daher übersponnener Kupferdraht von 350 Fuſs Länge zu einem hohlen Cylinder von 4 Zoll Länge, 1 Zoll innerem und 2 Zoll äuſserem Durchmesser aufgewickelt, und dieser dann an einer Schnur befestigt, die über eine leichte Rolle ging, vermöge welcher er 36 Fuſs gehoben, und dann mit beschleunigter Geschwindigkeit, bei steter Senkrechtheit seiner Axe, auf ein sehr weiches Kissen fallen gelassen werden konnte. Lange übersponnene Drähte wurden mit seinen beiden Enden verknüpft, und, zusammengedreht, zu einem sehr empfindlichen Galvanometer geführt, welches 50 Fuſs von der Falllinie entfernt, im Niveau mit der Mitte derselben aufgestellt war. Endlich überzeugte man sich von der Genauigkeit der Verknüpfungen und der Richtung der Einstellung der Nadel durch Einschaltung einer kleinen Thermokette in die Leitung. Das Heben und Senken einer solchen Drahtrolle kann keine Ablenkung der Galvanometers durch einen vom Erdmagnetismus herrührenden Strom verursachen; denn da sie während des Falls sich selbst parallel bleibt, so werden auch ihre Drahtwindungen an beiden Seiten von den Linien gleicher Magnetkraft, welche der magnetischen Neigung parallel sind, mit gleicher Geschwindigkeit durchschnitten, und folglich kann keine magneto-elektrische Induction zu Stande kommen. Wirklich zeigte auch diese Drahtrolle beim Aufsteigen oder Fallen keine Spur von Wirkung auf das Galvanometer, es mochte die Verbindung mit dem Galvanometer während der ganzen

Digitized by Google

Zeit unterhalten, oder just vor der Verringerung oder Aufhebung der Bewegung unterbrochen, oder auch das Heben und Fallenlassen isochron mit den Schwingungen der Galvanometernadel bewerkstelligt werden. So schien, wiewohl die Schwerkraft keinen Effect in der Drahtrolle selbst ausübte, doch keine Fehlerquelle aus dieser Benutzungsweise derselben zu entspringen.

2706. Nun wurde ein solider Kupfercylinder, von 0,75 Zoll Durchmesser und 7 Zoll Länge, in die Drahtrolle gesteckt, sorgfältig darin befestigt und mit Tuch umwickelt, so daſs er sich nicht bewegen konnte; diese zusammengesetzte Vorrichtung wurde, wie die frühere, fallengelassen (2705). Sie gab sehr kleine, aber merkwürdig regelmäſsige Anzeigen von einem Strome im Galvanometer, und die Wahrscheinlichkeit, daſs diese von der Schwerkraft herrührten, erhöhte sich, als man fand, daſs beim Heben der Drahtrolle oder des Kerns ähnliche Anzeigen von entgegengesetzten Strömen erschienen. Es verging einige Zeit, ehe ich diese Ströme auf ihre wahre Ursache zurückzuführen vermochte; allein zuletzt entdeckte ich diese in der Wirkung eines Theils der Verbindungsdrähte, die von der Rolle zum Galvanometer führten. Die beiden Drähte waren regelmäſsig zusammengedreht, allein in Folge des öfteren Fallens hatte sich ein Theil in der Mitte zu einer Art Schleife aufgelöst, so daſs die Drähte, statt wie die Stränge eines Taues dicht zusammengedreht zu seyn, auf einer Strecke von drei Fuſs neben einander fortliefen. Beim Fallen öffnete sich diese Schleife mehr oder weniger, aber immer in derselben Weise; und die Folge davon war, daſs der Theil von ihr, welcher die transversale Oeffnung bildete und am weitesten vom Galvanometer war, einen gröſseren Raum durchwanderte als der nächste Theil am Galvanometer. Hätten sie gleichen Raum durchwandert, so würde der Effect der Kraftlinien des Erdmagnetismus auf sie gleich gewesen seyn und es hätte keine Wirkung auf das Galvanometer erzeugt werden können; so aber wurden Ströme von entgegengesetzter Richtung und ungleicher Stärke erregt, und

es muſste also ein dem Unterschied gleicher Strom wirklich zum Vorschein kommen. Ein solcher Fall ist in meinen früheren Versuchen über die Erdmagneto-elektro-Induction (171) beschrieben. Offenbar muſste der Strom in umgekehrter Richtung erscheinen, so wie Rolle und Drähte in der Luft gehoben wurden, und dadurch entstand der eben beschriebene umgekehrte Effect. Deshalb lieferte diese Anwendung des Kupferkerns in der Drahtrolle keinen positiven oder günstigen Beweis für die ursprüngliche Voraussetzung.

2707. Das Kupfer war gewählt worden, weil es ein schwerer Körper und vortrefflicher Elektricitätsleiter ist. Statt seiner wurde nun ein gleicher Cylinder von Wismuth genommen, als eine äuſserst diamagnetische und, unter den Metallen, schlecht leitende Substanz. Es ergaben sich unsichere Anzeigen; allein bei genauer Achtsamkeit erst auf diesen, dann auf jenen Punkt, verschwanden alle Anzeigen, und das Heben und Fallenlassen des Wismuths hatte keine Wirkung auf das Galvanometer.

2708. Hierauf wurde ein Cylinder von *Eisen*, als einem magnetischen Metall, angewandt; allein als er in der Drahtrolle wohl befestigt worden, daſs er sich darin nicht bewegen konnte, war er so unwirksam wie der von Kupfer und Wismuth (2706 2707).

2709. Cylinder von Glas und Schellak, also nicht leitenden Substanzen, wurden gleichfalls ohne Erfolg angewandt.

2710. Bei anderen Versuchen war die Drahtrolle befestigt, und die verschiedenen Substanzen wurden, als Cylinder von 0,75 Zoll Durchmesser und 24 Zoll Länge, entweder hindurch fallen gelassen oder mit beschleunigter Geschwindigkeit aufwärts durchgezogen; allein in beiden Fällen war der Effect Null. Angewandt wurden Stäbe von Kupfer, Wismuth, Glas, Schellack und Schwefel. Bisweilen wurden diese Stäbe vor oder während ihres Falles in rasche Umdrehung versetzt, bisweilen auch anderen Abänderungen unterworfen, aber immer mit negativem Erfolg, wenn alle Fehlerquellen vermieden oder beachtet worden waren.

Digitized by Google

2711. Beim ferneren Nachdenken über die ursprüngliche Hypothese von einer Beziehung zwischen den Kräften und über die etwaigen Effecte eines Spannungszustandes in und zwischen den Körpertheilchen, welche, wie wir wissen, zugleich der Sitz von gravitirenden und elektrischen Kräften sind und der Gravitation der Erde unterliegen, schien es wahrscheinich, daſs das Hemmen der in der Schwerkraftlinie auf- und abgehenden Bewegung (2703. 2704), gleichviel, ob ein plötzliches oder allmäliges, entgegengesetzte Effecte wie das Anfangen dieser Bewegung haben würde, auch daſs eine Herabbewegung schneller als die, welche die Schwerkraft einzuprägen vermag, gröſsere Effecte als diese Kraft geben, und ebenso eine entsprechende Beschleunigung der Hinaufbewegung verhältniſsmäſsig wirksamer seyn würde. In solchem Fall würde eine Maschine, die einen raschen Wechsel von Hinauf- und Hinab-Bewegung gewährte, sehr nützlich seyn, um viele kleine Inductionswirkungen in beschränktem Raum und mäſsiger Zeit hervorzubringen; denn durch geeignete Commutatoren könnten die beschleunigten und verzögerten Theile jeder halben Schwingung gesondert und wieder zu einem übereinstimmenden Strom vereinigt werden, und dieser Strom lieſse sich durch das Galvanometer senden, in einer Richtung, während die Nadel nach der einen Seite schwingt, und in der umgekehrten, während sie zurückschwingt, und so abwechselnd fort, bis der Effect, wenn überhaupt einer von der vorausgesetzten Ursache erzeugt würde, merklich geworden wäre.

2712. Die zu diesem Zweck von mir angewandte Maschine ist die in der letzten Reihe dieser Untersuchungen (2643) beschriebene, nur daſs der Elektromagnet, der zum Experimentiren dienende Kern und der ihn führende Stab entfernt waren; *a*, *b*, *c* (Fig. 7 Taf. I.) ist ein Brett, *ddd* ein hölzerner Hebel und *e* seine Axe; *f* die Kniescheibe und *g* die groſse Scheibe mit ihrer Handhabe *h*; *i* die Stange welche Kniescheibe und Hebel verknüpft; *q* das Galvanometer, *r* der Commutator; *w* Verbindungsdrähte; *s*, *s*

Springfedern von Messing oder Kupfer, *t* ein Kupferstab, der beide Hebelarme verbindet, um ihnen Festigkeit zu geben; *u* die hohle Drahtrolle, befestigt oder beweglich nach Belieben. Die Maschine ist im $\frac{1}{13}$ der natürlichen Gröſse dargestellt; sie konnte in jeder Lage aufgestellt werden. Der ihrer Wirkung unterworfene Cylinder von Metall oder anderer Substanz war 5,5 Zoll lang und 0,75 Zoll dick, festgehalten zwischen den Enden *d*, *d* der Hebelarme. Die Erstreckung der abwechselnden Bewegung betrug 3 Zoll. Eine hohle Drahtrolle *u* von 2,5 Zoll Länge und solchem inneren Durchmesser, daſs die Cylinder ihre raschen Hin- und Hergänge ohne Gefahr des Anstoſsens an die Seiten vollziehen konnten, enthielt 516 Fuſs übersponnenen Kupferdraht. Diese Drahtrolle (*this cylinder*) wurde entweder unverrückbar befestigt oder mit dem zu untersuchenden Cylinder fest verbunden, so daſs sie sich mit diesem bewegen muſste. Von dieser Drahtrolle führten Verbindungsdrähte zum Commutator und von da zum Galvanometer. Das Moment dieser Maschine wurde theilweise von den Federn *s*, *s* (2648) aufgefangen, und in entgegengesetzte Bewegung verwandelt; allein es blieb noch so viel desselben übrig, daſs groſse Sorgfalt in der Befestigung nöthig war, um der Maschine einen gleichmäſsigen Gang zu geben und Störungen im Cylinder und an der Drahtrolle zu verhüten, die sonst rasch eintreten und öfters elektrische Ströme verursachen.

2713. Cylinder von Eisen, Kupfer und anderen Substanzen in dieser Maschine angewandt, gäben leicht Elektroströme in verschiedener Weise. Eisen z. B. könnte vermöge der Polarität, die es unter dem Einfluſs der Erde annimmt, magnetoelektrische Ströme geben, und diese lieſsen sich am besten entdecken und sondern, wenn man durch zweckmäſsig angebrachte Magnete die durch das Eisen gehenden Magnetkraftlinien neutralisirte oder umkehrte. Ströme, wie die in Kupfercylindern und andern guten Leitern erzeugten, (2663. 2681) könnten durch Wirkung der Erde entstehen; allein da die Linien der Schwerkraft und des Erdmagne-

Digitized by Google

tismus gegen einander neigen, so könnte diese durch die Lage getrennt werden; überhaupt scheint mir, daſs es keinen Fehler giebt, den man nicht bei Sorgfalt vermeiden könnte. Ich will nicht beschreiben, wie diese Erkenntniſs erlangt wurde, sondern sogleich zu den Hauptresultaten übergehen.

2714. Der Kupfercylinder (2712) wurde in die Maschine eingesetzt und die Drahtrolle ihn umgebend unverrückbar befestigt, auch das Ganze in solche Lage gebracht, daſs der Cylinder senkrecht war und sich in der Drahtrolle auf und ab parallel der Linie der Schwerkraft bewegte. Wie rasch aber auch die Maschine arbeitete und welche Lage auch der Commutator hatte, so war doch kein Resultat am Galvanometer sichtbar. Cylinder von Wismuth, Glas, Schwefel, Guttapercha etc. gaben ebenfalls negative Resultate.

2715. Hierauf wurde die Drahtrolle von ihrer festen Unterlage entfernt, und an dem Kupfercylinder befestigt, so daſs sie sich nur mit diesem bewegen konnte. Jetzt erhielt man sehr regelmäſsige und verhältniſsmäſsig groſse Wirkungen; allein bald lieſsen sich dieselben auf andere Ursachen als die Schwerkraft, nämlich auf folgende, zurückführen. Die Drahtrolle war auf dem einen Ende des Hebels befestigt, 22 Zoll von dessen Axe; und da sie 2 Zoll im Durchmesser hielt, waren ihre Drähte an der einen Seite nur 21 Zoll, an der anderen aber 23 Zoll von dieser Axe entfernt. Beim Vibriren bewegten sich also diese Theile mit Geschwindigkeiten und durch Räume, die sich wie 21 : 23 verhielten. Wenn daher diese Bewegungen quer auf den Linien des Erdmagnetismus geschahen, so suchten sich in diesen verschiedenen Theilen Elektroströme zu bilden, deren Stärke jenen Zahlen proportional waren und da die Unterschiede dieser Ströme beständig von den Commutatoren aufgesammelt wurden, so kamen sie am Galvanometer zum Vorschein. Dieſs wurde sichtbar gemacht, indem man die Maschine so aufstellte, daſs, während die Schwingungsebene noch vertical war, die Drahtrolle sich

gerade unter der Bewegungsaxe befand, ihre Mittellinie also nicht vertical, sondern horizontal lag. Die Windungen der Drahtrolle schnitten nun die Magnetkraftlinien in der günstigsten Weise, und in Folge deſs war der Commutator nicht mehr erforderlich, denn eine einzige Bewegung der Drahtrolle in einer Richtung reichte hin, die inducirten magneto-elektrischen Ströme am Galvanometer nachzuweisen. Wurde dagegen die Ebene der Bewegung horizontal gelegt, so lieſs sich durch keinen Betrag von Bewegung ein Strom erregen; denn obwohl die Drahtrolle horizontal lag und nicht merklich mehr als zuvor, so bewegten sich doch jetzt die Drahtwindungen, welche (oben und unten) die magnetischen Kraftlinien schnitten, mit genau gleicher Geschwindigkeit, so daſs das Resultat des Unterschiedes Null seyn muſste.

2716. Das vorhergehende kleine Resultat (2715) muſste also wahrscheinlich von einem Effect dieser Art abhängen, und dieſs bestätigte sich, als man die Maschine in solche Lage brachte, daſs die Axe des Cylinders und der Drahtrolle, in dem mittleren Theil ihrer Bewegung, parallel war der magnetischen Neigung; denn es entstand keine Wirkung, und andere Körper in derselben Lage waren gleichfalls unwirksam.

2717. Hier enden für jetzt meine Versuche; ihre Resultate sind negativ. Dennoch ist mein Glaube an das Daseyn einer Beziehung zwischen Schwerkraft und Elektricität dadurch nicht erschüttert.

Royal Institution, 19. Juli 1850.

Digitized by Google

IV. *Fünf und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Aus gleicher Quelle wie die vorhergehende Abhandlung.)

I. Nicht-Ausdehnung gasförmiger Körper durch Magnetkraft.

2718. Keinem Zweifel kann es unterliegen, daſs die magnetische, die diamagnetische und die magneoptische oder magnekrystallische Kraft, bei vollendeter Kenntniſs, sich uns als Eine Kraftform oder als wesentlich einerlei ergeben werden. Das verleiht dann dem Studium irgend einer dieser Kräfte ein groſses Interesse; denn wie stark sie auch in besonderen Punkten von einander abweichen, so ist doch kaum möglich, daſs die Einsicht in die eine, ohne einen entsprechenden Fortschritt in der Kenntniſs der anderen bleiben sollte. Angetrieben durch solche Betrachtungen, habe ich mich, wie Plücker, Weber und Reich, bemüht, die Wirkungsweise diamagnetischer und magnekrystallischer Körper mit einigen Graden von Genauigkeit auszumitteln, wovon die letzte Untersuchung (2640 etc.) über diese Frage von einer Polarität der diamagnetischen Körper, die der des Eisens entgegengesetzt sey, eins der Resultate war.

2719. Nachdem ich jedoch das Daseyn einer solchen Antipolarität vergebens aufgesucht, und dagegen gezeigt habe, wie ich glaube, daſs die von dieser abgeleiteten Erscheinungen aus anderen Ursachen entspringen, bin ich veranlaſst worden, um etwas Genaueres über die Natur der diamagnetischen Körper zu erfahren, eine andere Idee zu verfolgen, welche durch die magnetischen und diamagnetischen Phänomene der Gase hervorgerufen war. Die dadurch erlangten Resultate sollen Gegenstand der vorliegenden Abhandlung seyn.

Digitized by Google

2720. Bancalari hat zuerst gezeigt, daſs die Flamme diamagnetisch ist [1]). Die Wirkung rührt, wie ich bewiesen habe, von dem heiſsen Zustand des gasigen Theils der Flamme her [2]). Allein auſserdem scheinen die Gase in gewöhlichen Temperaturen diamagnetisch seyn zu können, und dabei auch sehr von einander abzuweichen [3]), so daſs z. B. Stickstoff und mehre andere Gase stark diamagnetisch sind gegen gemeine Luft, der Sauerstoff aber das Ansehen eines magnetischen Körpers hat, denn während ersterer abgestoſsen wird aus dem Ort der stärksten Kraft des Magnetfeldes, wird letzterer dahin gezogen.

2721. Erinnert man sich des allgemeinen Gesetzes der Wirkung magnetischer und diamagnetischer Körper, daſs die ersteren von schwächeren zu stärkeren, und die letzteren von stärkeren zu schwächeren Orten der Magnetkraft zu gehen trachten, und wendet man dieses Gesetz auf Körper wie Gase an, die zugleich sehr elastisch sind und ihr Volum durch Hinzufügung sehr kleiner Kraftgrade verändern, so scheint zu folgen, daſs ein diamagnetisches Gas, weil seine Theilchen durch die Magnetkraft von Orten stärkerer Wirkung zu Orten schwächerer getrieben werden, sich im magnetischen Felde ausdehnen müsse. Denn der Kraftbetrag, mit welchem die Theilchen aus der Axe des Magnetfeldes zu weichen suchen, würde sich der Expansivkraft hinzufügen, durch welche sie vorhin dem Druck der Atmosphäre widerstanden; dieser Druck würde also zum Theil durch eine neue Kraft aufgewogen werden und davon wäre eine Ausdehnung das nothwendige Resultat. Andererseits wenn ein Gas magnetisch wäre, wie z. B. der Sauerstoff, würden die Theilchen desselben, vermöge der von der Magnetkraft direct auf sie ausgeübten Wirkung, gegen die Axe des Magnetfeldes getrieben werden, und indem diese Wirkung sich dem atmosphärischen Druck ad-

1) *Phil. Magazine* 1847 *Vol. XXXI. p.* 401. (Ann. Bd. LXXIII, S. 256.)

2) Ibid. p. 404. (Ann. Bd. LXXIII, S. 261.)

3) Ibid. p. 409. (Ann. Bd. LXXIII, S. 268.)

Digitized by Google

dirte würde eine Zusammenziehung oder Volumsverringerung erfolgen.

2722. Wenn sich diese Voraussetzungen als richtig erwiesen, würden wir zur Kenntniſs des wahren Nullpunktes (2416. 2432. 2440.) gelangen können [1]), nicht allein bei Gasen, sondern auch bei allen anderen Körpern; wir würden im Stande seyn zu sagen, ob ein Gas, wie Sauerstoff, magnetisch oder diamagnetisch sey, und könnten die Gase und übrigen Substanzen in gehörige Reihenfolge bringen. Bei dem Versuch, zu ermitteln, ob die Luft im Magnetfelde eine Volumsveränderung erleide, hatte ich anfangs kein Resultat erhalten, allein die entgegengesetzte Angabe Plücker's [2]) und die groſse Erweiterung, die unsere Kenntniſs von den diamagnetischen Beziehungen der Gase und deren groſse Unterschiede seitdem erlangte, ermuthigten mich, hierhin weiter zu gehen.

2723. Zunächst bemühte ich mich zu ermitteln, ob eine dem Magnetpol unmittelbar berührende Schicht von Luft oder sonst einem Gase eine Ausdehnung oder Zusammenziehung erleide, welche auf die Bahn eines Lichtstrahls einwirke und dadurch sichtbar werde. Es wurde daher in einem dunklen Raum vor der Flamme einer hellen Lampe ein Metallschirm mit einem Nadelloch aufgestellt, und somit ein künstlicher Stern oder kleiner wohl begränzender leuchtender Gegenstand gebildet. Sechs und vierzig Fuſs davon entfernt stand der groſse Hufeisenmagnet (2247), bereit durch 20 Grove'sche Plattenpaare erregt zu werden. Die Pole befanden sich in der Richtung des Lichtstrahls, so daſs dieser erst 4 Zoll lang dicht über der Oberfläche des ersten Pols hinweg ging, dann 6 Zoll durch die Luft und nun 4 Zoll entlang dicht über der Oberfläche des zweiten Pols. Ein sehr schönes Fernrohr, Hrn. South gehörig, von 3 Zoll Apertur und 46 Zoll Brennweite, fing

1) Ibid. p. 409. (Ann. Bd. LXXIII, S. 268.)

2) *Ann. de chim. et de phys.* 1850, *T. XXIX. p.* 134. (Ann. Bd. LXXIII, S. 549.)

den Strahl auf; es war versehen mit einem vortrefflichen Mikrometer, so daſs die kleinste Veränderung in dem Orte des Lichtbildes an den Fäden entdeckt werden konnte. Die Axe des Fernrohrs lag eben über dem Niveau der Pole. Allein es war nicht die geringste Aenderung im Charakter oder Ort des Lichtbildes zu beobachten, weder beim Schlieſsen noch beim Oeffnen der den Magnet erregenden Volta'schen Batterie.

2724. Da der hauptsächlichste Theil des zum Fernrohr gelangenden Lichts aus Strahlen bestand, welche in einiger Entfernung über den Magnetpolen fortgingen, so wurden diese durch einen Schirm abgeschnitten, welcher sich auf ein Achtelzoll dem Niveau der Pole näherte, so daſs nur innerhalb dieses Abstandes Licht fortgehen konnte. Die Intensität des Lichts war dadurch natürlich verringert und das Bild durch Inflexion verzogen; allein der Ort desselben wurde noch gut durch das Mikrometer angegeben. Die Zulassung oder Entziehung der Magnetkraft bewirkte indeſs weder darin, noch in sonst einem Charakter die geringste Aenderung.

2725. Die Magnetpole wurden nun so verändert, daſs der Strahl zuweilen dicht neben einer langen rechtwinklichen Kante fortging, zuweilen zwischen zwei solchen Kanten, etwas darüber oder darunter und ihnen parallel, zuweilen oberhalb der Verbindungslinie zweier dicht zusammenstehender hemisphärischer Pole; aber weder in diesen Fällen, noch in vielen anderen, hatte die magnetische Wirkung irgend einen Einfluſs auf die Bahn des Strahls.

2726. Bei einem anderen Versuch wurde das Fernrohr fortgelassen und statt seiner eine bloſse Karte mit einem Nadelloch von $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{100}$ Zoll im Durchmesser angewandt. Das Bild des Lichtsterns war im Dunklen durch das Nadelloch zu sehen, und dabei ging jeder zur Bildung desselben beitragende Strahl innerhalb eines Abstandes von $\frac{1}{50}$ Zoll neben der Oberfläche des Magnetpols fort; dennoch konnte kein von der Magnetkraft herrührender Effect beobachtet werden.

2727. Bei einer anderen Anordnung, welche einer der

Digitized by Google

früher von mir bei den Versuchen über den Diamagnetismus der Gase angewandten analog war [1]), konnte ich die Pole mit verschiedenen Gasen umgeben, und den Strahl auf 2 Zoll seines Laufes durch die Gase leiten, während sie unter dem Einfluſs des Magnets standen. Obwohl das Gas des einschlieſsenden Gefäſses das Bild des Gegenstandes d. h. des Lichtpunktes störte, so war doch leicht wahrzunehmen, daſs bei der Erregung des Magnetismus kein neuer Effect hinzutrat.

2728. So wurden angewandt: Sauerstoff, Stickstoff und Steinkohlengas; aber weder eins dieser Gase, noch die Luft selbst, zeigte im Contact mit dem Pol eines sehr kräftigen Magnets eine Ausdehnung oder Verdichtung bis zu dem Grade, daſs eine merkliche Aenderung in dem Brechvermögen eingetreten wäre.

2729. Um die erwarteten Volumsveränderungen mit den erlangten Resultaten zu vergleichen, lieſs ich den vom leuchtenden Gegenstand zum Auge gehenden Strahl in einem Abstand von $\frac{1}{30}$ Zoll neben einem Eisenstab von 7 Zoll Länge vorbeistreifen, und erhitzte nun den Stab allmälig bis, durch die Ausdehnung der ihn berührenden Luft, die Bahn des Lichtes merklich afficirt wurde; dazu war eine Erwärmung von vielen Graden erforderlich. Wenn bei 60° der Luft, der Stab bis 100° F. erwärmt wurde, war noch keine Wirkung da. Hieraus ergiebt sich, daſs die erwartete Volumsveränderung der Luft durch eine directe Messung viel deutlicher geworden wäre als mittelst der Brechkraft, denn sicher würde die Aenderung eines sehr kleinen von 60° bis 100° erwärmten Luftvolums auf ersterem Wege sehr sichtbar gewesen seyn. Andererseits wäre auch möglich, daſs wenn die Luft oder das Gas vom Magnet afficirt würde, dieſs nur in der unmittelbar den Pol berührenden Schicht geschähe, und also groſse Unterschiede nur längs den Ecken und Kanten vorkämen. Dadurch ward es nothwendig, gerade diese Theile durch einen Lichtstrahl zu untersuchen; es wurde daher mit aller Vorsicht

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 414. (Ann. Bd. LXXIII, S. 275.)

die Bahn des Strahls mehr oder weniger gegen die und Ränder der Pole geneigt, und ebenso wurden d... ten und Ecken der Pole schwach convex gemacht, ... dem Versuche jede Veränderung vorzunehmen, die magnetischen oder diamagnetischen Effect, sey es ein ciellen, localen oder allgemeinen, leichter wahrnehm... könnten; aber ohne allen Erfolg.

2730. Nach Fehlschlagung dieser Versuche b... ich mich, das Volum der Luft, bevor und nachdem ... Magnetkraft ausgesetzt worden, zu vergleichen; die ... nung auf diese Weise ein Resultat zu erlangen, ... überhaupt die Magnetkraft eine solche Aenderung bewir... konnte, schien um so gröſser, als bekanntlich die ... schon in beträchtlichem Abstande von der Oberfläche ... Magnets eine starke diamagnetische Einwirkung erlei... und als Plücker bereits angiebt, eine solche Volum... derung erhalten zu haben (2722).

2731. Das erste zu diesem Zweck construirte In... ment war folgender Art. Aus zwei Klötzen weichen ... sens von 1 Zoll Dicke und 3 Zoll im Quadrat, mit ... gefeilten Flächen, und einem Kupfer-Blech von 3 Zoll im Quadrat und $\frac{1}{60}$ Zoll Dicke, dessen mittlerer Theil bis auf 0,3 Zoll vom Rande ringsum herausgeschnitten worden, wurde, indem man letzteres zwischen erstere legte und durch Kupferschrauben zusammenpreſste, eine luftdichte Kammer von $\frac{1}{60}$ Zoll Dicke und 2,4 Zoll im Quadrat gebildet, welche die als Magnetpole dienenden Eisenklötze zu Seiten hatte. Drei Oeffnungen führten zu dem Innern dieser Kammer und waren mit kleinen Hähnen versehen. Durch zwei derselben konnte irgend ein gehörig getrocknetes Gas in die Kammer geführt, oder mittelst eines anderen Gases wieder ausgetrieben werden; die dritte enthielt eine Visirröhre (2732) zum Wahrnehmen und Messen der etwa eintretenden Volumsänderungen. Die Ränder der centralen Kupferplatte und die Köpfe der eingelassenen Schrauben waren mit weiſsen harten Firniſs bestrichen,

Digitized by Google

um die Kammer für alle Umstände, in die sie versetzt werden sollte, vollkommen luftdicht zu machen.

2732. Die Visirröhre bestand aus einem Haarröhrchen von 1,5 Zoll Länge, dessen Durchmesser in der Mitte der Länge weniger als halb so groſs wie an den Enden war. Dasselbe war mit einem Ende in einem Sockel befestigt, welcher an dem erwähnten (2731) dritten Hahn geschroben ward. Eine kleine Portion Weingeist, gefärbt durch Cochenille, wurde von einem Streifen Holz oder Glas in das äuſsere Ende dieses Röhrchens gebracht, von wo es sogleich nach den mittleren oder engsten Theil vorrückte, um daselbst, wie es seyn muſs, ein einiges Säulchen zu bilden. Durch Schlieſsen des Hahns ward dieſs Säulchen leicht an seinem Ort gehalten, während man die Kammer mit Gas füllte und dessen Druck mit dem der Atmosphäre ausglich. Verschloſs man darauf die anderen Hähne und öffnete den Hahn der Visirröhre, so zeigte diese jede durch die Magnetkraft etwa veranlaſste Volumsveränderung sogleich an. Um dieser jedoch den höchsten Grad von Empfindlichkeit zu geben, war es nothwendig den flüssigen Cylinder zuvörderst rechts und links laufen zu lassen, um das Röhrchen nach beiden Seiten hin anzufeuchten, was leicht durch Hin- und Herneigen der Kammer zu erreichen war. Diese und andere Vorsichtsmaſsregeln in Bezug auf Lage, Temperatur u. s. w. können jedoch nur aus Erfahrung erlernt werden.

2733. Diese Büchse wurde nun zwischen den Polen des groſsen Elektromagnets, mit der Gaskammer in aequatorialer Lage, aufgestellt, und rechteckige Stücke von weichem Eisen, die auf den Magnetpolen ruheten, daran gelegt, so daſs eigentlich die inneren Seiten der Luftkammer die Pole bildeten, die also $\frac{1}{10}$ Zoll aus einander waren und 3 Zoll im Quadrat hielten. Das in der Kammer enthaltene Gas war also einer kräftigen magnetischen Action ausgesetzt und sehr kleine Volumsänderungen desselben konnten gemessen werden. Es ist jedoch vielleicht zu bemerken nöthig, daſs es einem Felde ausgesetzt war, worin die Magnetkraftlinien überall gleiche Kraft hatten (2463. 2465).

2734. Zunächst wurde *Luft* in die Kammer gebracht, und, nachdem Alles in gehöriger Ordnung war, der Ort der anzeigenden Flüssigkeit mit einem Mikroskop beobachtet. Nun wurde der Magnet aufs kräftigste in Thätigkeit versetzt; die Flüssigkeit bewegte sich ein wenig, wie wenn die Luft etwas ausgedehnt worden wäre; und nach Aufhebung der Magnetkraft kehrte die Flüssigkeit an ihren früheren Ort zurück. Derselbe Erfolg wiederholte sich mehrmals. Der Betrag dieser Veränderung war sehr gering, und man hatte Grund ihn von dem Druck abzuleiten, den der Magnet, wenn er thätig war, gegen die Seiten der Büchse ausübte; denn als später die Büchse in einen Schraubstock gespannt und geprefst wurde, trat dieselbe Bewegung der Flüssigkeit ein, und als ferner die rechteckigen Eisenstücke (2733) durch einen Untersatz von Holz aus einander gehalten wurden, so dafs sie die Büchse nicht absolut berührten und drücken konnten, war der Effect fast auf Null reducirt.

2735. Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Salpetergas wurden nun successiv in die Eisenbüchse gebracht, und mit demselben Erfolg. Zwischen Sauerstoff und den übrigen Gasen zeigte sich kein Unterschied, trotz ihrer grofsen Verschiedenheit in magnetischer und diamagnetischer Beziehung. Auch Wasserstoff- und Steinkohlengas wurden dem Versuch unterworfen, allein wenn diese Gase sich in der Büchse befanden, erfolgte ein langsames Zurückweichen der anzeigenden Flüssigkeit, herrührend, wie ich fand, von einer Absorption der Gase entweder durch den Firnifs oder den Kitt oder den Kork an der Visirröhre oder den Fugen der Büchsen. Die Empfindlichkeit der Visirröhre war hierdurch einleuchtend; allein wenn der Effect in Rechnung gezogen ward, ergab sich, dafs diese Gase ebenso wenig als die übrigen durch magnetischen Einflufs in ihrem Volum geändert worden waren.

2736. Der Durchmesser der Visirröhre an der Stelle wo sich die Flüssigkeit befand, betrug etwas weniger als 0,01 Zoll. Der Betrag einer Bewegung gleich 0,01 Zoll

war

war leicht ermittelt. Aus dem Vergleich dieser Zahlen mit der Räumlichkeit der Gaskammer ergab sich, daſs, wenn das Gas sich nur um 0,00001 ausgedehnt oder zusammengezogen hätte, das Resultat sichtbar gewesen seyn würde, ebenso wie jeder Unterschied von diesem Betrage zwischen Sauerstoff und Stickstoff oder den übrigen Gasen; aber *kein Effect oder Unterschied der Art kam zum Vorschein.*

2737. Da mir die Feststellung entweder des *Daseyns* oder der *Abwesenheit* einer Volumsänderung bei Gasen durch magnetischen Einfluſs von groſser und fast gleicher Wichtigkeit zu seyn schien, so veranlaſste mich dieses zu erwägen, ob der Umstand, daſs in dem oben beschriebenen Versuch die Gase einem Magnetfelde von gleichmäſsiger Kraft ausgesetzt waren (2733), wohl das Aufkommen des gesuchten Effects verhindert haben möchte; denn ein solches Feld ist für das Auftreten der diamagnetischen Phänomene bei starren und flüssigen Körpern das ungünstigste und sie verschwinden fast gänzlich darin. Ich construirte daher einen anderen Apparat, bei dem dieser Umstand entfernt war, und bei welchem, wenn die Theilchen des diamagnetischen Gases durch eine unbekannte Disposition der thätigen Kräfte nur von stärkeren zu schwächeren Wirkungsorten zu gehen trachteten und somit unfähig wären sich in axialer Richtung auszudehnen, sie bloſs den aequatorialen Effect zeigen würden.

2738. Aus einem Cylinder von weichem Eisen waren auf der Drehbank die mittleren Theile herausgenommen worden, so daſs er die Gestalt eines Stundenglases oder die der Fig. 10 Taf. I., welche ihn im Drittel seiner Gröſse darstellt, erhalten hatte. Ich erwartete, daſs er, statt der früheren Büchse zwischen den Magnetpolen aufgestellt, vermöge der Continuität des Eisens keine Verkürzung durch den Druck der Pole erleiden, und somit in seinem hohlen Theile die diamagnetischen Phänomene ungehindert auftreten lassen würde. Dieſs letztere erwies sich richtig, denn Flamme, Rauch, Wismuth und andere diamagnetischen Sub-

stanzen, dahin gebracht, stellten sich ohne Weiteres aequatorial.

2739. Ein kupfernes Rohr von 2,5 Zoll Länge und 0,1 Zoll Wanddicke wurde dem Eisen angepaſst, über dasselbe geschoben, wie es Fig. 10 zeigt, und mit weichem Kitt vollkommen luftdicht darauf befestigt. Es bildete auf diese Weise eine ringförmige Luftkammer rings um das Eisen, besaſs, wie sich fand, eine Capacität von mehr als zwei Kubikzoll und schloſs den intensivsten Theil des Magnetfeldes ein. Es war mit drei Hähnen versehen, von denen zwei zum Ein- und Auslassen des Gases dienten, und der dritte den Druck-Anzeiger aufnahm. Unbekleidet konnte dieser Apparat nicht angewandt werden, weil seine Temperatur beständig schwankte; allein nach Umhüllung mit einer dreifachen Lage von Flanell, war seine Temperatur vollkommen constant, und als auch zum Drehen der Hähne hölzerne Schlüssel gebraucht wurden, erwies er sich untadelhaft.

2740. Ehe ich diesen Apparat zu verschiedenen Gasen anwandte, wollte ich wissen, was von dem Vergleiche eines Gases mit einem anderen zu erwarten sey; ich machte also zuvor folgenden Versuch, der auf den relativen specifischen Gewichten des Gases und des Wasserstoffgases beruht. Es ist leicht, in der Luft einer Flasche eine Spur von Ammoniak zu verbreiten, indem man ein Stückchen Papier, das mit einer starken Lösung desselben befeuchtet ist, hineinthut [1]), und eben so leicht ist es, einen Strahl Wasserstoffgas, der eine sehr kleine Menge salzsauren Gases enthält, durch eine horizontale Röhre in die ammoniakalisirte Luft einzuführen. Ist dieſs geschehen, so macht sich die Bahn des leichten Wasserstoffes in der schweren Luft sehr deutlich wahrnehmbar; man sieht es, beim Zurückziehen der Horizontalröhre, sich auf einmal aufwärts wenden und rasch in die Höhe steigen, dabei wegen seines, im Vergleich zur Luft, geringen specifischen Gewichts in seinem Fortgang Fäden ziehen.

1) *Phil. Magazine* 1847, *Vol. XXXI. p.* 415. (Ann. Bd. 73 S. 276.)

Digitized by Google

2741. Zwei, auf den groſsen Magnet gelegte, in Halbkugeln auslaufende Pole wurden nun mit einander in Berührung gesetzt, um mit Luft oder Sauerstoff umgeben zu werden [1]), und in der Mitte des Magnetfeldes, genau unter der axialen Linie, wurde ein Wasserstoffstrom, zum Betrage von 6 Kubikzoll in der Minute, entwickelt. Ohne Anwendung der Magnetkraft stieg der Wasserstoff senkrecht in die Höhe, sich brechend an den Punkten, wo er die hemisphärischen Pole berührte; mit Anwendung der Magnetkraft aber theilte er sich in zwei Ströme, die rechts und links wanderten, und in einigem Abstande von dem Berührungspunkte in die Höhe stiegen. Diese Theilung geschah in einem gewissen Abstand unter der axialen Linie und hier war der Wasserstoff, ungeachtet seiner Steigkraft in der Luft oder dem Sauerstoff, durch die scheinbar abstoſsende Magnetkraft genöthigt horizontal zu gehen; in ihrem ferneren Laufe kamen die beiden Theile des Gasstroms der axialen Linie nicht näher, sondern bildeten mit dieser eine fast oder ganz concentrische Curve, ähnlich einer Stimmgabel.

2742. Wenn Luft das Magnetfeld einnahm, geschah die Theilung des Wasserstoffstroms bei 0,30 oder 0,32 Zoll unter der axialen Linie; umgab aber Sauerstoff die Pole, so erfolgte sie bei 0,55 Zoll unterhalb derselben Linie; folglich war bei diesen Abständen die Kraft, welche den Wasserstoff horizontal, in Richtung des Radius, von der axialen Linie abwärts zu gehen zwang, gleich dem Unterschied im specifischen Gewichte des Wasserstoffs und respective der Luft und des Sauerstoffs. Bei geringerem Abstande würde die Kraft viel gröſser seyn, und in der That, als man den Wasserstoff bei diesen Versuchen näher an der axialen Linie ausströmen lieſs, wurde er herunter und mit viel gröſserer Kraft fort geblasen. Mit Hülfe dieser Data und mit der Annahme, daſs die diamagnetischen Gase bloſs in Folge der directen Einwirkung des Magnets, welche sie von stärkeren Wirkungsorten in schwächere treibt, aus der axialen

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 413. (Ann. Bd. 73 S. 274.)

Digitized by Google

Linie gewichen waren, fand ich, wie ich suchte, Grund zu glauben, daſs die diamagnetischeren Gase, als sie die Kupferbüchse füllten (2739) durch die Magnetkraft wahrscheinlich wenigstens um $\frac{1}{60000}$ ihres Volums ausgedehnt worden wären. Nun zeigte die Flüssigkeit der angewandten Visirröhren, wenn sie sich in ihnen um 0,01 Zoll bewegte, noch $\frac{1}{250000}$ der Capacität der Büchse an (2736) folglich würde sie sich durch eine Ausdehnung wie die obige um 0,4 Zoll bewegt haben; eine mehr als hinreichende Gröſse, um das Resultat sichtbar zu machen, wenn die fundamentale Annahme richtig wäre.

2743. *Luft* wurde zunächst der Kraft des groſsen, durch zwanzig Grove'sche Plattenpaare angetriebenen Hufeisenmagnets in diesem Apparat (2739) ausgesetzt. Die Flüssigkeit bewegte sich, bei Erregung der Magnetkraft, sehr schwach auswärts, wie wenn eine kleine Ausdehnung erfolgt wäre; und bei Fortnahme der Kraft kehrte sie zurück. Dieser kleine Effect entsprang, wie sich späterhin fand, aus der Compression, veranlaſst durch das Streben der Magnetpole sich einander zu nähern (2734).

2744. *Sauerstoff* zeigte genau dieselben Erscheinungen und in gleicher Gröſse, so daſs hier also kein magnetischer oder diamagnetischer Effect vorhanden war, sondern nur der einer Compression wie bei der Luft (2743).

2745. *Stickstoff* gab genau dieselben Resultate wie Sauerstoff und Luft. Nun ist Stickstoff wahrscheinlich diamagnetischer als Wasserstoff, und deshalb hätte er einen auffallenden Constrast mit dem Sauerstoff liefern müssen, wenn irgend ein positives Resultat zu erlangen wäre.

2746. *Kohlensäure* und *Salpetergas* lieferten ebenfalls negative Resultate und zwar als der Apparat, wie ich glaube, im untadelhaften Zustand war.

2747. In der *Pharmaceutical Society* befindet sich ein ausgezeichneter Elektromagnet von Hufeisenform, ähnlich eingerichtet wie der meinige (2247) aber weit kräftiger; dieser wurde mir, zur Wiederholung der vorstehenden Versuche in dem Hause der Gesellschaft, gütigst von Hrn.

Redwood zur Benutzung überlassen. Das Eisen, ein sehr weiches und von guter Beschaffenheit, bildet einen quadratischen Stab von 5 Zoll Dicke und die Mittellinie beträgt 50 Zoll. Es ist mit 1500 Fuſs Kupferdraht von 0,175 Zoll Dicke bewickelt, die, als ich sie gebrauchte, eine zusammenhängende Länge bildeten. Die beweglichen Polarstücke sind massiv im Verhältniſs zu dem Magnet. Zur Erregung dieses Magnets wurden 80 Grove'sche Plattenpaare angewandt, und da sich durch vorläufige Versuche gefunden hatte, daſs sie zu zwanzig in vier Reihen mit den analogen Enden verknüpft am wirksamsten waren, so wurde diese Anordnung gebraucht, die also eine Batterie von 20 Plattenpaaren darstellte, worin der eingetauchte Theil jeder Platinplatte 4×9 Quadratzoll betrug und folglich dem Zink eine Fläche von 72 Quadratzoll darbot.

2748. Bei Wiederholung der früheren Versuche (2743) machte sich wiederum die Wirkung des Drucks bemerklich und selbst der Magnet, obwohl 5 Zoll dick, wurde durch die gegenseitige Anziehung seiner Pole etwas gekrümmt. Der Effect war sehr gering wegen des Zusammenhangs (*unity*) des durch die Mitte der Gaskammer gehenden Eisenkerns (2738). Es war der einzige von der Visirröhre angezeigte Effect und dieser war gleich für alle Gase; nach Abzug desselben blieb für eine Volumsänderung des Gases selbst nichts übrig.

2749. *Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure* und *Salpetergas* wurden nach einander der Wirkung dieses sehr kräftigen Magnets ausgesetzt, aber bei keinem dieser Gase erschien die geringste Spur einer Volumsänderung.

2750. Ich halte diese Versuche in jeder Hinsicht für hinreichend zu entscheiden, daſs diese Gase, sie mögen als magnetische oder diamagnetische Körper betrachtet werden oder Körper von beiden Klassen einschlieſsen (denn der Sauerstoff steht zu den übrigen im auffallenden Constrast), durch die Magnetkraft nicht in ihrem Volum geändert werden, sey es in einem Felde von überall gleicher Kraft (2737) oder in einem von sehr ungleicher. Ich halte diese

Entscheidung für sehr wichtig in Bezug auf die wahre Natur der Magnetkraft, sie mag in den Körpertheilchen existiren oder auf dieselben wirken. Und so wie die Kraft sich in dem Magnetfelde nicht als eine centrale, sondern als eine axiale äuſsert, so ist die fernere Unterscheidung der Erscheinungen in solche, welche der axialen Richtung angehören (2733), und in solche, welche der aequatorialen Richtung angehören oder sie einschlieſsen, nicht unwichtig, denn sie zeigt, daſs die Theichen keine Neigung haben sich parallel oder winkelrecht zu den Linien der Magnetkraft von einander zu entfernen. Ohne die Versuche würde man es gewiſs für sehr möglich gehalten haben, daſs eine dieser Ausdehnungsweisen und nicht die andere stattfände.

2751. Ohne Zweifel könnten dennoch Volumsänderungen in diesen Richtungen stattfinden, sobald dieselben nur nach einer Richtung in Expansion und nach der anderen in Contraction beständen, und beide von gleichem Betrage wären. Zum Theil wegen solcher möglichen Aenderungen (die als molecular zu betrachten wären) wurden die Versuche mit dem Lichtstrahl (2723. 2729) gemacht, und, sowohl bei diesen als bei anderen Versuchen, ein polarisirter Strahl angewandt. Allein die Resultate waren immer negativ, wenn alle Fehlerquellen entfernt wurden.

2752. Die Unterschiede in dem Grade von diamagnetischer Empfänglichkeit und Beschaffenheit, welche die zu den vorstehenden Versuchen angewandten Gase besitzen oder annehmen können, sind so groſs, um die Annahme zu rechtfertigen, daſs wenn sie unter der Wirkung des Magnets keine Tendenz zu einer Volumsänderung zeigen, auch sonst kein Gas oder Dampf eine solche zeigen werde, vielmehr alle zu dieser groſsen Klasse gehörigen Körper in dieser Beziehung gleich seyen. Im Zusammenhange mit diesem Schluſs kann ich noch angeben, daſs ich mich sowohl früher als noch kürzlich bemüht habe, durch einen sehr empfindlichen Apparat und durch kräftige Elektromagnete zu ermitteln, ob bei Flüssigkeiten wie Wasser,

Digitized by Google

Alkohol und Eisenvitriollösung eine Volumsänderung hervorgebracht werde, ich aber nichts der Art beobachten konnte und daher an deren Existenz nicht glaube. Noch später habe ich von der Klasse der soliden Körper Eisen, als einen magnetischen, und Wismuth, als einen diamagnetischen, dieser Untersuchung unterworfen, beide sowohl als solide Cylinder und als Feilicht oder Bruchstücke. Die Cylinder waren in Glasröhren gethan, und die Bruchstücke in Glasflaschen; letztere waren mit Visirröhren, wie die beschriebenen (2732), versehen, und der nicht von Metall eingenommene Theil derselben war bei der einen Reihe von Versuchen mit Luft und bei der anderen mit Alkohol gefüllt; aber in keinem Fall ließs sich die geringste Volumsänderung beim Eisen oder Wismuth beobachten, einer wie kräftigen Magnetkraft sie auch unterworfen werden mochten.

2753. Noch schien ein anderes Resultat einer Repulsionskraft möglich, selbst wenn, gemäſs der früheren Voraussetzung (2751), die Tendenz zur aequatorialen Ausdehnung durch eine gleich groſse Tendenz zur axialen Zusammenziehung compensirt werden sollte, nämlich, daſs bei Anwendung von spitzen Polen oder dem schon beschriebenen Stundenglas-Kern, Ströme erzeugt würden, die auswärts oder aequatorial, d. h. in Linien winkelrecht auf der Magnetaxe gingen, und andere, die zu dieser Linie einbögen längs den geneigten Flächen der Polar-Enden, einigermaſsen denen ähnlich, welche so kräftig auftreten und so leicht zu verfolgen sind, wenn eine Flamme oder heiſse Luft in Luft, oder der Strom eines Gases in einem andern Gase betrachtet wird [1]).

2754. Wenn indeſs das das ganze Magnetfeld einnehmende Gas von gleichförmiger Natur und gleicher Temperatur ist, läſst sich nicht die leiseste Spur von solchen Strömen beobachten. Es ist nicht leicht, untadelhafte Prüf-

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 402, 404 und 409. (Ann. Bd. 73. S. 258.)

Digitized by Google

mittel für solche Bewegungen zu ersinnen, weil sichtbare Körper, die man in solch ein Magnetfeld brächte, um die Bewegungen der Luft nachzuweisen, selber diamagnetisch sind, und wenn sie ein vereinzeltes Wölkchen bilden, bewegt und fortgeführt werden, wie ein diamagnetischer Körper; allein auch wenn das ganze Feld ziemlich gleichförmig mit sehr leichten Staubtheilchen oder Lycopodium erfüllt ist, sind bei kräftiger Wirkung des Magnets keine Anzeigen von Strömen sichtbar. Als ich einen schwachen Strom des zertheilten kalten Rauchs einer ausgeblasenen Wachskerze [1]) ein wenig an einer Seite der axialen Linie herabsinken oder aufsteigen lieſs, ging er auswärts und aequatorial; allein wie wohl er mit der meisten Kraft auswärts ging, wenn er von den beiden konischen Polen oder den entsprechenden Theilen des doppelten Eisenkerns (2738) gleichen Abstand hatte, so fuhr er doch fort auswärts und aequatorial zu gehen, wenn man ihn einer Seite nahe vorbeistreichen lieſs, selbst im Fall er, wegen groſser Nähe der Eisenfläche, sich gleichsam über dieselbe zu bewegen hatte. Dieſs zeigt daſs die Tendenz des Rauches, auswärts zu gehen, in *jedem Theil* des von der Luft oder dem Gase eingenommenen Magnetfeldes vorhanden war, und daſs also die Bewegung desselben aus der Wirkung des Magnets auf ihn, als diamagnetischen Körper, entsprang und nicht von Luftströmen herrührte, die, wenn sie existirt hätten, an einem Orte einwärts und an einem anderen auswärts gerichtet gewesen seyn würden.

2755. Wenn magnetische oder diamagnetische Flüssigkeiten, nach der sinnreichen Vorrichtung von Plücker, auf einem Glimmerblatt über den Polen, der Magnetkraft ausgesetzt werden, so nehmen sie schnell, entsprechend ihrer Natur, verschiedene Gestalten an, aber eine weitere Bewegung oder Strömung in ihnen findet nicht statt. Ohne Zweifel sind diese Fälle verschieden von denen, wo das gesammte Magnetfeld von einem und demselben Medium eingenommen ist; allein sie unterstützen doch den Schluſs, daſs keine

1) Ibid. p. 403. (Ann. Bd. 73 S. 260.)

Digitized by Google

Ströme gebildet werden. Wenn man dieselben Flüssigkeiten in Glaszellen zwischen die Pole bringt, lassen sich keine magnetischen Ströme wahrnehmen, wenn man auch um dergleichen Vorgänge sichtbar zu machen, zarte Theilchen eingestreut hat.

2756. So läſst sich also weder durch die Wirkung auf einen Lichtstrahl (2729. 2729), noch durch eine Ausdehnung oder Zusammenziehung (2750), noch durch Erzeugung von Strömen (2751), ein Beweis führen, daſs der Magnet eine directe Anziehung oder Abstoſsung auf die Theilchen der untersuchten Gase ausübt oder daſs ihre, thatsächlich nachgewiesene, Bewegung im Magnetfelde von einer solchen unmittelbaren Anziehung oder Abstoſsung herrührt.

II. Magnetische Differential-Wirkung.

2757. Was ist denn aber die Ursache der diamagnetischen Ortsveränderung? Der Effect ist offenbar differentialer Art, abhängig von den *Unterschieden* zweier Portionen oder Massen der das Magnetfeld einnehmenden Substanzen, wie Luft und die Ströme eines anderen Gases darin [1]), oder wie Quecksilber und die Luftröhre darin (2407), oder wie Wasser und das Wismuthstück darin (2301), und wiewohl sie sich nur in der Wirkung von Massen zeigen, so müssen doch letztere ihre Unterschiede den Qualitäten ihrer Theilchen verdanken. Indeſs ist zu bemerken, daſs kein Versuch, vollkommen gemischte Theilchen von sehr verschiedenen Substanzen zu trennen, bisjetzt gelungen ist, obwohl dazu die kräftigsten Magnete angewandt wurden. Sauerstoff und Stickstoff weichen ungemein von einander ab, allein dennoch zeigt sich in einem sehr kräftigen Magnetfelde nicht die geringste Spur von Trennung beider [2]). Bei anderen Versuchen habe ich eine verdünnte Eisenvitriol-Lösung in eine Röhre eingeschlossen und dann deren unteres Ende, an einem Ort von vollkommen gleichförmiger

1) *Phil. Mag.* 1847 *p.* 409. (Ann. Bd. 73 S. 268.)
2) Ibid. p. 416. (Ann. Bd. 73 S. 279.)

Temperatur, auf vier Tage zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnets gebracht, aber ohne die geringste auf eine Trennung der Theilchen deutende Anzeige von einer Concentration der Lösung in diesem Ende.

2758. Die diamagnetischen Erscheinungen der Gase, betrachtet als das Differentialresultat der Wirkung von Volumen dieser Körper, lassen sich durch Anwendung von Seifenblasen auf sehr nützliche Weise folgendermaſsen hervorbringen und untersuchen: Eine Glasröhre wurde mit Kappe, Hahn und Blase versehen, so daſs irgend ein in der Blase enthaltenes Gas durch dieselbe gesandt werden konnte; ein Stativ hielt sie in jeder erforderlichen Lage. Das Ende der Röhre war rechtwinklich herabgebogen, und vorn gerade abgeschnitten, wie Fig. 11 Taf. I. in etwas verkleinerter Gröſse zeigt.

2759. Es ist leicht, an dem Ende einer solchen Röhre Seifenblasen von jeder Gröſse bis zu 2 Zoll im Durchmesser zu blasen und durch Wirkung des Hahns die erforderliche Zeit über zu erhalten. Das Seifenwasser bereitet man, indem man einige Schnitzel Seife in etwas kaltes destillirtes Wasser legt; daraus lassen sich die dünnsten und gleichförmigsten Blasen bereiten, welche beweglicher sind als die aus dickeren Lösungen dargestellten, und bei einiger Sorgfalt halten sie sich lange genug für jeden Versuch. Das Ende der Röhre muſs vollkommen rein und von heterogenen Substanzen frei seyn (da diese für die Blasen schädlich sind); es muſs in- und auswendig mit der Seifenlösung benäſst und *vor dem Gebrauch eine Weile* darin gelassen werden.

2760. Bläſst man an dem herabgewandten Ende der Röhre eine Blase von einem halben Zoll im Durchmesser so wird sie meistens an ihrem Boden etwas überschüssiges Wasser enthalten, und so locker an der Röhre haften, daſs sie sich mit groſser Freiheit bewegt. Sie wird demgemäſs wie eine Pendel hin und her schwingen, und je nach dem sie mehr oder weniger Wasser am Boden enthält, diese

Digitized by Google

Schwingungen mehr oder weniger rasch vollziehen; sie wird als Ganzes, mehr oder weniger stark gravitiren und deshalb ihre senkrechte Lage mit mehr oder weniger Stabilität behaupten, alles Umstände, welche für die Anwendung der Blase, als eines magnetischen oder diamagnetischen Anzeigers, sehr nützlich sind.

2761. Die Bestimmung der relativen Wassermenge, welche sich in oder auf der Blase befindet, ist innerhalb gewisser Gränzen leicht gemacht. Wenn man, nachdem die Pfeife in das Seifenwasser getaucht worden, das Ende derselben mit einem ebenfalls in das Seifenwasser getaucht gewesenen Holzstück oder Glasstab berührt, so kann mehr oder weniger der Flüssigkeit fortgenommen werden; und wenn man beobachtet, wie hoch die Flüssigkeit vermöge capillarer Action in der Röhre steht, was zwischen $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{2}$ Zoll schwanken kann, so ist es leicht, nach einigen experimentellen Proben zu bestimmen, wie viel erforderlich ist, um eine Blase zu bilden, die mit einer gewissen Menge Wasser beladen ist, und wie wenig man nehmen muſs, um eine Blase ohne alles unten anhängende Wasser zu erhalten; und ebenso leicht ist es dann, durch vorheriges Anpassen der Wassermenge, eine Blase von jedem erforderlichen Charakter zu bilden. Selbst wenn kein Wassertropfen an der Blase hängen bleibt, kann man ihr noch eine verschiedene Wanddicke geben.

2762 So wie die Blasen mehr oder weniger Wasser enthalten, werden sie empfindlicher in ihrer Anzeige. Sie schwingen langsamer und werden durch eine seitwärts angebrachte Kraft leichter bewegt. Die diamagnetische Wirkung des sie bildenden Seifenwassers ist geringer; und deshalb die des darin enthaltenen Gases verhältniſsmäſsig gröſser. Ist die Blase sehr dünn, so wird die hängende Lage, eine Lage instabilen Gleichgewichts, denn jede Neigung der Röhre oder jede Seitenkraft, wie klein sie auch sey, macht, daſs die Blase sich zur Seite begiebt, an der Röhre in die Höhe steigt und daran haften bleibt (Fig. 12 Taf. I.). Die hängende Lage liefert in eingeschlossenen Räumen oder

Digitized by Google

Atmosphären einen äuſserst empfindlichen Anzeiger; und selbst wenn die Blase seitwärts der Röhre anhaftet, bildet sie noch ein sehr schätzbares Instrument, denn sie dreht sich um die Röhre wie um eine Axe; und da sie einen gewissen Grad von Festigkeit besitzt, so kann sie in jeder Lage im Magnetfelde gehalten werden, und durch ihre Bewegung zu oder ab der axialen Linie zeigt sie den Magnetismus oder Diamagnetismus des in ihr enthaltenen Gases in Bezug auf die umgebende Luft sehr gut an.

2763. Wird die Mündung der Röhre aufwärts gekehrt, so lassen sich Blasen von der dünnsten Wanddicke bilden, allein sie sind von sehr instabiler Lage und begeben sich an die Seite der Röhre; sie können als Anzeiger gebraucht werden, wie zuvor (2762). Wird die Mündung erweitert, so kann man es dahin bringen, daſs die Blasen, wenn sie dünn sind, an dem Rohrende stehen bleiben, allein da sie an gröſseren Flächen haften, so erfordern sie zur seitlichen Bewegung mehr Kraft, und verlieren ihre Empfindlichkeit als Anzeiger.

2764. Bei Anwendung solcher Blasen zu einer und derselben Reihe vergleichender Versuche ist es zweckmäſsig sie von nahe gleicher Gröſse und Wanddicke zu verfertigen. Gewöhnlich mache ich sie von einem halben Zoll im Durchmesser. Als ich eine solche Blase mit *Luft* in der hängenden Lage blies, sie in den Winkel des Doppelpols, im Niveau mit der axialen Linie (Fig. 13 Taf. I.) brachte, ward sie, bei Erregung der Magnetkraft durch 20 Grove'sche Plattenpaare, mit einer gewissen Kraft von der axialen Linie auswärts oder aequatorial abgelenkt, und bei Unterbrechung des elektrischen Stroms kehrte sie in ihre frühere Lage zurück. Die Ablenkung war nicht groſs und rührte von dem Wasser der Blase her, somit eine Anzeige von dem Betrage dieses Effects gebend, der als Berichtigung bei den Versuchen mit andern Gasen diente.

2765. *Stickstoff in Luft.* Eine Blase voll Sticktoff ging in gemeiner Luft auswärts oder aequatorial mit viel gröſserer Kraft als eine Blase voll Luft (2764) in sehr auffal-

lender und belehrender Weise. Sie wurde von dem Ende der Röhre zur Seite derselben hinaufgetrieben; und als sie an der Seite der Röhre einwärts liegend der Magnetkraft ausgesetzt ward, ging sie nach der Auſsenseite der Röhre und behielt beim Drehen der Röhre diese Lage, so lange die Kraft unterhalten ward. Dieser Effect ist um so auffallender, wenn man erwägt, daſs die Luft selbst zu vier Fünfteln aus Stickgas besteht.

2766. *Sauerstoff in Luft.* Der Effect war sehr ausgezeichnet, in dem die Blase heftig und plötzlich einwärts oder gegen die axiale Linie getrieben ward, genau wie wenn der Sauerstoff höchst magnetisch wäre. Das Resultat entsprach der Erwartung, indem es übereinstimmte mit den Erscheinungen, die Sauerstoff und Stickstoff bei einer früheren Untersuchung des Magnetismus der Gase dargeboten hatten [1]).

2767. *Salpetergas und ölbildendes Gas in Luft.* Die Blasen gingen auswärts oder diamagnetisch, mit viel größerer Kraft als von der Wirkung des Wassers der Blase herrühren konnte, was die Beziehung dieser Gase zur Luft beweist und die früher mit Strömen derselben erhaltenen Resultate bestätigt [2]).

2768. Es hält nicht schwer, diese Beobachtungsmethode auf Versuche mit Gasen in Atmosphären von anderen Gasen als Luft anzuwenden, sobald nur diese der Art sind, daſs sie die Blase nicht zerstören; allein ich will die Zeit mit der Auseinandersetzung der Resultate solcher Versuche nicht vergeuden, da sie vollkommen mit den früher erhaltenen übereinstimmen [3]). Die gegebene Beschreibung ist vollkommen hinreichend zur Erläuterung des aufgestellten Satzes, daſs die Bewegung der Gase in einander, im Magnetfelde, ein Differentialresultat ist.

2769. Derselbe Schluſs, daſs der Effect ein Differentialresultat der dem Magnetfelde ausgesetzten Massen von

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 410, 415. (Ann. Bd. 73 S. 277.)
2) Ibid. p. 411. (Ann. Bd. 73 S. 271.)
3) Ibid. p. 414 u. 415. (Ann. Bd. 73 S. 277.)

Digitized by Google

Materie ist, ergiebt sich auch aus der in einem früheren Theil dieser Untersuchungen (2405—14) ausgesprochenen Betrachtungen der Fälle von gasigen, flüssigen und starren diamagnetischen Körpern, und ein Schluſs gleicher Art kann in Bezug auf magnetische Körper aus den dort (2361—68) beschriebenen Versuchen gezogen werden.

III. Magnetischer Charakter des Sauerstoffs, des Stickstoffs und des Raums.

2770. Die Differentialwirkung zweier Portionen von Gasen oder anderen Substanzen läſst sich auf eine weit interessantere und wichtigere Weise als die eben beschriebene genauer untersuchen. Sie kann selbst zur Basis eines Instruments gemacht werden, durch welches sich wahrscheinlich höchst wichtige Angaben und Messungen über magnetische und diamagnetische Wirkungen erhalten lassen, die zu bisjetzt noch ungeahneten Resultaten führen können.

2771. Wenn man zwei Portionen von gasigen oder flüssigen Substanzen zusammen verknüpft auf symmetrische Weise zu beiden Seiten der Magnetaxe in das Magnetfeld versetzt, so werden sie gleichzeitig afficirt. Sind beide diamagnetisch oder weniger magnetisch als das das Magnetfeld einnehmende Medium, so suchen sie auswärts oder aequatorial zu gehen, gleich stark, wenn sie es gleich sind, ungleich stark, wenn sie es verschieden sind. Die Folge davon ist, daſs wenn sie zunächst in gleichen Abstand von der Magnetaxe gebracht worden sind, der Hinzutritt der Magnetkraft ihre Lage nicht ändert, sobald sie gleich sind, diese Lage aber geändert wird, sobald sie ungleich sind. Denn die am meisten diamagnetische wird sich auswärts aequatorial bewegen, bis beide in zwei neue Lagen gekommen sind, in welchen die wirkenden Kräfte einander aufheben und ein stabiles Gleichgewicht herbeiführen. Dann kann man die Strecke, durch welche sie sich bewegten, indirect gebrauchen, oder, besser noch, die zur Zurückführung in ihre aequistante Lage erforderliche Kraft direct

Digitized by Google

anwenden, um die Tendenz abzuschätzen, mit welcher jede aus der Magnetaxe zu gehen suchte, d. h. um ihre relativen diamagnetischen Intensitäten zu bestimmen.

2772. Um Gase einer solchen Untersuchungsweise zu unterwerfen, nahm ich eine sehr dünne und regelmäſsige Flintglasröhre von etwa $\frac{5}{16}$ Zoll äuſserem Durchmesser und nicht mehr als $\frac{1}{60}$ Zoll Wanddicke, und zog zwei gleiche Stücke derselben zu der in Fig. 14 Taf. I. abgebildeten Gestalt aus, deren cylindrischer Theil $1\frac{1}{2}$ Zoll lang war; den einen füllte ich mit Sauerstoffgas, den anderen mit Stickgas, und verschloſs dann beide hermetisch. Das Ende des verlängerten Theils von jedem berührte ich, während es noch warm war, mit Siegellak, und befestigte einen Draht daran, und knüpfte diesen in eine Schlinge, ebenfalls dargestellt in voller Gröſse. Durch diese wurden die Röhren senkrecht an eine Torsionswaage aufgehängt, so daſs die Mitte beider sich im Niveau mit der Magnetaxe befand.

2773. Die Torsionswaage bestand aus einem Bündel von 60 gleichmäſsig gestreckten Coconfasern, befestigt oben an einer verticalen Axe, die über einer graduirten Platte einen horizontalen Zeiger führte, und unten einen horizontalen Hebel. An dem einen Ende dieses Hebels saſs ein horizontaler Querstab von $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge und an den Enden dieses Querstabes, $8\frac{1}{2}$ Zoll vom Mittelpunkt der Bewegung, hingen die beiden Röhren voll Sauerstoff und Stickstoff (2772), aufgewogen durch ein Gegengewicht am anderen Arm des horizontalen Hebels. Das Ganze war in Bezug auf den Elektromagnet, der zur Zeit mit dem Doppelkegelförmigen Anker (2764) versehen war, so aufgestellt, daſs die Mitte jeder Röhre sich im Niveau mit der Mitte des Ankers befand, in gleichem Abstande von jeder Seite desselben. Wenn man unter diesen Umständen den Hebel in Schwingungen versetzte, so geschahen diese, vermöge des Gewichts der ganzen Vorrichtung und der geringen Torsionskraft der Coconfasern, mit groſser Langsamkeit.

2774. So wie die Magnetkraft in Wirksamkeit gesetzt ward, änderte sich Alles. Die Sauerstoff-Röhre wurde

Digitized by Google

sogleich einwärts, gegen die Axe, getrieben, und die Stickstoffröhre auswärts, nach entgegengesetzter Seite. Die Waage schwang über ihren neuen Ruhepunkt hinaus und kehrte mit bedeutender Kraft zurück, solchergestalt viele Schwingungen in derselben Zeit machend, die zuvor von einer einzigen ausgefüllt ward. Nachdem sie zur Ruhe gekommen war, stand die Sauerstoffröhre etwa $\frac{1}{8}$ Zoll vom Eisenkern, die Stickstoffröhre dagegen $\frac{4}{8}$ Zoll. Zehn Umdrehungen der Torsionsaxe änderten diese Abstände nur in schwachem Grade.

2775. Die Wirkungen, welche die gegenseitige Selbst-Ajustirung des Sauerstoffs und Stickstoffs, was ihren Ort in Bezug auf die Magnetaxe betrifft, bedingen, sind sehr einfach und einleuchtend. Zunächst ist das *Gas* der Röhren diamagnetischer als das umgebende Medium, die Luft (2424), und deshalb strebt es auswärts zu gehen; allein da beide Gläser von gleicher Beschaffenheit sind, so streben sie, bei gleichen Abständen, sich mit gleicher Kraft zu bewegen, und compensiren also einander bei diesen Abständen. Wenn eins derselben einwärts getrieben wird, so gelangt es unter eine gröſsere Kraft, indem es in einen intensiveren Theil des Magnetfeldes kommt; und das andere, welches zu derselben Zeit auswärts geführt wird, kommt aus demselben Grunde an einen Ort von geringerer Wirkung. Sobald also der Zwang entfernt wird, kehrt das System in seine stabile Gleichgewichtslage zurück, in welcher beide Körper gleichen Abstand von der Magnetaxe haben.

2776. Auch die *Inhalte* der Röhren sind den Magnetkräften unterworfen und wie die Resultate zeigen (2774) in sehr verschiedenem Grade. Entweder strebt der Sauerstoff kräftiger als der Stickstoff nach Innen, oder der Stickstoff kräftiger als der Sauerstoff nach Auſsen; und der Unterschied muſs sehr groſs seyn, denn die Sauerstoffröhre wird der Axe so nahe geführt, daſs sie daselbst ohne bedeutenden Zwang nicht einen Augenblick verweilen kann. Die Kraft, mit welcher sich die Röhren in der

aequi-

Digitized by Google

aequidistanten Lage erhalten würden, combinirt mit der Gröſse der Verschiebung aus dieser Lage, zeigt die Gröſse der Verschiebung der Kraft, welche die vereinte Wirkung des Sauerstoffs und Stickstoffs in einer Richtung, nämlich einwärts, entwickelt, denn wiewohl die Wirkung complicirt ist, ist doch das Resultat einfach. Aus früheren Versuchen ist bekannt, daſs in Luft der Stickstoff aequatorial und der Sauerstoff axial geht [1]); die Stickstoffröhre wird also vermöge einer gewissen Differentialkraft, die vom Flintglase und Stickstoff einerseits, und von dem durch sie verdrängten Luftvolum andererseits abhängt, aequatorial gehen und in gleicher Weise geht die Sauerstoffröhre axial durch eine Differentialkraft, deren Gröſse abhängt von der axialen Tendenz des Sauerstoffs, von der aequatorialen der Röhre und von der vereinten Relation beider zu der durch sie verdrängten Luft. Allein beide Röhren und ihre Inhalte sind durch ihre vereinte Relation zu der Luft und durch ihren mechanischen Zusammenhang so mit einander verknüpft, daſs, wenn eine Kraft (wie die der Torsion) angewandt wird, um ihre aequidistante Lage zu der Magnetaxe wieder herzustellen, jede Betrachtung der Substanz der Röhren und der Luft, als des umgebenden Mittels, überflüssig wird. Die Gase lassen sich als in unmittelbarer Relation zu einander und zu der Magnetaxe, befreit von allen übrigen Einwirkungen, betrachten; und die Kraft, welche erfordert wird, um sie in die *aequidistante* Lage zu bringen, ist das Maaſs ihrer magnetischen oder diamagnetischen Differenzen.

2777. Nachdem ich so die allgemeinen Grundsätze der Wirkung erklärt habe, will ich, als Anwendung derselben, zur Construction eines Meſsinstruments und zu den damit erhaltenen Resultaten übergehen, weiter als es zur allgemeinen Erläuterung der magnetichen und diamagnetischen Körper und der Bestimmung des wahren Nullpunktes (2721, 2722) erforderlich ist.

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 409. (Ann. Bd. LXXIII. S. 268.)

2778. Die eben beschriebenen Principien befähigen mich zu einer Untersuchungsmethode zurückzukehren, welche früher mir groſse Hoffnungen erregte (2433), aber plötzlich, durch Mangel an Mitteln zu ihrer Ausführung, abgeschnitten zu seyn schien. Verschiedene Substanzen, magnetische oder diamagnetische, gestatten zweierlei Beobachtungsweisen, die für die Kenntniſs ihrer Eigenschaften und ihrer Bestimmung im Haushalt der Natur ungemein belehrend zu seyn versprechen. Ein Gas kann *erwärmt* oder *erkältet* werden und der Temperatur-Effect, welcher bekanntlich sehr wirksam ist [1]), läſst sich nun ohne Volumsveränderung des Gases untersuchen; ebenso kann es in sehr ausgedehntem Grade *verdünnt* oder *verdichtet* werden, und der Effect dieser Veränderung läſst sich unabhängig vom Temperaturwechel oder der Gegenwart irgend einer anderen Substanz ermitteln. Starre und flüssige Körper lassen diese Untersuchungsmethoden nicht zu, und unterstützen also nicht in gleicher Weise wie die Gase die Bestimmung des Nullpunkts und der wahren Unterscheidung vom magnetischen und diamagnetischen Körper.

2779. Es schien mir, daſs wenn ein Gas magnetisch wäre, sein Magnetismus abnehmen müſste im Verhältniſs zu der Verdünnung, d. h., daſs gleiche Volume eines solchen Gases unter verschiedenem Druck um so magnetischer seyn müſsten, als sie dichter wären; daſs andererseits, wenn ein Gas diamagnetisch wäre, eine Verdünnung den Diamagnetismus desselben schwächen, ja bei Fortsetzung bis zum Vacuum, ganz vernichten müſste. Mit anderen Worten, wenn zwei gegenüberliegende Portionen eines und desselben magnetischen Gases, eine lockerer als die andere, zugleich der Magnetkraft ausgesetzt würden, müſste die *dichtere* der axialen Linie genähert oder in den Ort der intensiveren Wirkung gezogen werden; wogegen von zwei ähnlich gegenübergestellten Portionen eines diamagnetischen Gases, bei Unterwerfung der magnetischen Action, die aus-

1) *Philosoph. Magazine* 1847, *T. XXXI. p.* 409. (Ann. Bd. LXXIII, S. 268.

Digitized by Google

gedehntere oder *lockerere* einwärts oder zum Orte stärkerer Wirkung gehen müſste.

2780. Mehre Röhrchen, von ähnlicher Einrichtung wie die schon (2772) beschriebenen und sehr nahe von gleicher Gröſse (Fig. 15 Taf. I.), wurden mit Sauerstoff gefüllt und hermetisch verschlossen, nachdem die Gasmenge darin mittelst der Luftpumpe auf ein Gewisses zurückgeführt worden war. Das erste enthielt Gas von dem Drucke einer Atmosphäre, das zweite von einer halben Atmosphäre oder 15 Zoll Quecksilber, das dritte von 10 Zoll Quecksilber und das vierte enthielt es so verdünnt, wie es durch eine vortreffliche Luftpumpe herzustellen war. Der Vergleich der ersten mit den drei übrigen lieferte ein sehr auffallendes Resultat. Dem Gase von halber Atmosphäre gegenübergestellt, ging es zu der Axe und trieb das ausgedehntere fort; verknüpft mit dem Gas von einer Drittel-Atmosphäre ging es noch kräftiger einwärts oder axial; und mit dem Sauerstoffvacuum verknüpft, stellte es sich dem Eisenkern so nahe, wie früher als es mit Stickstoff verknüpft ward (2774); offenbar war es nur der Diamagnetismus der den Sauerstoff einschlieſsenden Glasröhre (2775) was diesen verhinderte gegen den die Mitte des Magnetfeldes einnehmenden Eisenkern zu pressen.

2781. Beim Experimentiren mit den übrigen Röhren wurden genau dieselben Resultate erhalten. So ging die Röhre mit Gas von einer Drittel-Atmospähre, verknüpft mit der Vacuum-Röhre, einwärts oder trieb die letzteren auswärts, d. h war magnetischer als sie; allein verknüpft mit dem Gase von halber Atmosphäre, ging sie auswärts, das dichtere Gas also einwärts. Jede Röhre, verknüpft mit einer anderen voll lockereren Gases, ging einwärts oder magnetisch, dagegen bei Verknüpfung mit einer anderen voll dichteren Gases, auswärts. So weit ich bei diesen vorläufigen Versuchen ermitteln konnte, schien die Tendenz zum Einwärts- oder Axialgehen proportional der Dichtigkeit des Gases zu seyn; indeſs soll die genaue Messung dieser Kräfte hernach gegeben werden.

2782. Somit scheint also der Sauerstoff eine sehr magnetische Substanz zu seyn, denn er geht mit bedeutender Kraft axial oder von schwächeren zu stärkeren Orten der Kraft, ein Schluſs, der mit dem Resultate früherer Beobachtungen übereinstimmt [1]). Ueberdieſs geht er kräftiger einwärts, wenn er dichter als wenn er locker ist, und diese Tendenz scheint proportional seiner Dichte zu seyn. So wie also der Sauerstoff entfernt wird, verschwindet auch die Magnetkraft mit ihm, bis bei Erreichung eines Vacuums, wenig oder nichts von der Anziehung oder Einwärts-Kraft übrig bleibt. Ohne Zweifel könnte man sagen, der dichte Sauerstoff sey weniger diamagnetisch als der lockere oder als ein Vacuum. Allein damit würde man auch sagen, die Kraft einer Substanz, wie Sauerstoff, nehme zu im Verhältniſs als die Menge der Substanz abnimmt, und das scheint mir nicht philosophisch zu seyn. Ueberdieſs giebt es, wie man bald sehen wird, noch andere Gründe, welche zeigen, daſs der bei Fortschaffung des Sauerstoffs verschwindende Magnetismus dem Sauerstoff angehört, dieser also eine wahrhaft magnetische Substanz ist.

2783. Nun wurde *Stickstoff*, als der andere und gröſsere Theil der Atmosphäre, dem Versuch unterworfen, und zur Füllung von drei Röhren verwandt; die eine enthielt das Gas von 30 Zoll Quecksilberdruck, die zweite von 15 Zoll, und die dritte höchst möglich verdünnt (2780). Als diese im Magnetfelde mit einander verglichen wurden, erwiesen sie sich so nahe gleich, daſs sie nicht von einander zu unterscheiden waren d. h. sie behielten gleichen Abstand von der Magnetaxe. Ich will damit nicht sagen, daſs Stickstoff unter verschiedenem Druck sich bei gleichem Volume absolut gleich verhalte (ein jetzt in Arbeit befindliches Instrument wird mich späterhin in Stand setzen, diese Punkte mit unendlich gröſserer Genauigkeit zu vergleichen und zu messen); allein, verglichen mit dem Sauerstoff, haben die

1) *Phil. Magazine* 1847 *Vol. XXXI. p.* 410, 415. (Ann. Bd. LXXIII. S. 268 und 277.)

groſsen und ungewöhnlichen Unterschiede, welche dort die Verdünnung hervorbringt, hier keine entsprechenden. Wenn es überhaupt welche giebt, sind sie für jetzt unmerklich, und können für den Hauptzweck dieses Aufsatzes und für die Bestimmung des Nullpunktes zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern gänzlich vernachläſsigt werden.

2784. Der Stickstoff scheint also weder magnetisch noch diamagnetisch zu seyn; wäre er eins von beiden, so könnte die Verdünnung nicht so einfluſslos auf ihn seyn; er verhält sich wie ein Vacuum. Betrachtet man einen gegebenen Raum als ein Vacuum, in welches allmälig Sauerstoff oder Stickstoff eingeführt wird; so wird der Raum, so wie Sauerstoff hinzugefügt wird, immer magnetischer d. h. immer geeigneter, die durch dieses Wort bezeichnete Art von Wirkung zuzulassen; allein eine entsprechende Hinzufügung von Stickstoff zum leeren Raum bewirkt weder diese noch die entgegengesetzte Art von Wirkung; mithin ist der Stickstoff weder magnetisch, noch diamagnetisch, sondern dem Raume selber gleich.

2785. Bisjetzt habe ich auf der diamagnetischen Seite des Nullpunktes kein Gas gefunden, welches in der groſsen Wirkung der Verdünnung irgend wie mit dem Sauerstoff zu vergleichen wäre. Für jetzt kann ich nur ölbildendes Gas und Cyan als Substanzen nennen, die einwärts oder zu der axialen Linie gehen, so wie sie mehr verdünnt werden. Sie liegen also nicht auf dem Nullpunkt, sondern auf entgegengesetzter Seite wie der Sauerstoff, sind diamagnetische Körper. Fehlte uns aber eine Substanz, die stark und unläugbar diamagnetisch wäre, und die, dem Raum hinzugefügt, denselben diamagnetisch machte, wie der Sauerstoff ihn magnetisch macht, so hätten wir eine solche am Flintglase oder am Phosphor. Wenn diese Substanzen, bei ähnlicher Gröſse und Gestalt, mit Stickstoff oder einem Vacuum, an der Torsionswaage, verglichen werden, gehen sie mit vieler Kraft auswärts; und wahrscheinlich ist es nur der groſse Diamagnetismus des Gases der Röh-

Digitized by Google

ren, welche beim ölbildenden und anderen Gasen verhindert, daſs der Effect der Verdünnung sichtbarer wird.

2786. Wenn eine Röhre mit irgend einem Gase gefüllt, dann so stark wie möglich ausgepumpt und nun hermetisch verschlossen wird, so kann man annehmen, sie enthalte das, was man für gewöhnlich ein Vacuum nennt. Ich habe viele solcher Vacua hergestellt, und es sey mir erlaubt, sie nach den Gasen zu nennen, von denen noch Spuren darin geblieben sind. Beim Vergleiche solcher Vacua im Magnetfelde (2773), schienen sie mir in jeder Beziehung gleich zu seyn; das Sauerstoff-Vacuum war nicht magnetischer als das des Wasserstoffs, Stickstoffs oder ölbildenden Gases. Ihre Unterschiede waren jedenfalls weit kleiner als die Unterschiede, welche durch eine Verschiedenheit in der Gestalt und Beschaffenheit des Glases veranlaſst seyn konnten; und sie lassen sich nur durch die späterhin angewandten Mittel auffinden (2783); ich bin vollkommen überzeugt, daſs sie zuletzt nahe gleich gefunden werden, und sich einem vollkommenen Vacuum dicht anreihen.

2787. Vor der Bestimmung des Nullpunktes zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern, haben wir den wahren Charakter und die Relation des von jeder materiellen Substanz freien *Raums* zu betrachten. Obwohl man einen von Materie vollkommen freien Raum nicht darstellen kann, so kann man sich ihm doch durch ein sorgfältig dargestelltes Torricelli'sches Vacuum sehr nähern. Vielleicht ist es kaum nöthig anzugeben, daſs ich sowohl Eisen als Wismuth in einem solchen Vacuum dem Magnet vollkommen gehorchen sah. Aus solchen Versuchen und auch aus allgemeinen Betrachtungen und Erfahrungen ist klar, daſs die Magnetkraftlinien (2148) den reinen Raum durchdringen, wie es die Schwerkraft und die Kraft der statischen Elektricitäten thut (2616), und deshalb hat der Raum eine magnetische Relation aus sich selbst, eine, welche wir künftig wahrscheinlich als von der äuſsersten Wichtigkeit für Natur-Erscheinungen finden werden. Allein dieser Cha-

Digitized by Google

rakter des Raums ist nicht von gleicher Art wie der, welchen wir, in Bezug auf Materie, uns bemühen durch die Worte magnetisch oder diamagnetisch auszudrücken. Sie zusammenwerfen, hieſse Raum und Materie verwechseln und alle Begriffe verwirren, durch welche wir uns bemühen eine fortwährend klarere Einsicht in die Wirkungsweise und die Gesetze der Naturkräfte zu erlangen. Es wäre, wie wenn man bei der Gravitation oder den elektrischen Kräften (1613) die auf einander wirkenden Theilchen verwechseln wollte mit dem Raum, durch welchen hin sie wirken; und das würde glaube ich die Thür zum Fortschritt verschlieſsen. Bloſser Raum kann nicht wirken wie die Materie, selbst wenn man gestattet bis zur Hypothese eines Aethers zu gehen; und bei Annahme dieser Hypothese wäre es eine neue Willkührlichkeit, vorauszusetzen, daſs die Magnetkraftlinien Vibrationen eines solchen Aethers seyen (2591), da wir bisjetzt keine Beweise haben, daſs Zeit zu ihrer Fortpflanzung erfordert werde, oder darüber, wie sie im allgemeinen Charakter mit den respectiven Linien der Gravitation, des Lichtes und der elektrischen Kräfte übereinkommen oder von ihnen abweichen.

2788. Ebenso wenig kann man annehmen, der Raum enthalte um seine Punkte solche Circularströme, wie nach der Ampère'schen Hypothese um die Theilchen der gewöhnlichen Materie existiren, und wie ich selbst einmal als in entgegengesetzter Richtung um die Theilchen der diamagnetischen Substanzen vorhanden angenommen hatte (2429, 2640). Die Einbildungskraft, gezügelt durch philosophische Betrachtungen, findet im reinen Raume Nichts, um welches die Ströme circuliren oder mit welchem sie irgend wie verknüpft seyn könnten; und die Schwierigkeit, wenn sie nicht schon unermeſslich ist, würde noch gröſser für Die, welche etwa die magnetischen und diamagnetischen Körper als von gleicher Natur betrachten und deshalb in beiden gleiche Ströme annehmen müssen; denn es scheint nicht möglich zu seyn, z. B. Phosphor von solcher magnetischen Con-

Digitized by Google

stitution dem als ähnlich constituirt vorausgesetzten Raum hinzufügen und doch als Resultat eine Verringerung der magnetischen Kräfte des Raums zu erhalten.

2789. Da also der Raum für sich unabhängig von Materie und in anderer Weise besteht, so müssen die verschiedenen Varietäten der Materie, hinsichtlich der respectiven Quantitäten, unter einander betrachtet werden. Diejenigen, welche, dem Raume hinzugefügt, keine Wirkung hervorbringen, scheinen mir neutral zu seyn, oder auf dem Nullpunkt zu stehen. Diejenigen, welche einen Effect von einer Art liefern, stehen auf der einen Seite dieses Nullpunkts, und die, welche den entgegengesetzten Effect erzeugen, auf der anderen Seite desselben, somit zwei Klassen von Körpern bildend, magnetische und diamagnetische. Das Gesetz, welches ich früher aufzustellen wagte (2267. 2418) drückt noch genau ihre Beziehungen aus; denn im absoluten Vacuum oder freien Raum sucht ein magnetischer Körper von schwächeren zu stärkeren Wirkungsorten zu gehen, und ein diamagnetischer Körper unter gleichen Umständen von stärkeren zu schwächeren.

2790. Nun, da der *wahre Nullpunkt* gefunden ist und er die groſse Mannigfaltigkeit materieller Substanzen in zwei allgemeine Klassen theilt, scheint mir, bedarf es, um Verwirrung zu vermeiden, eines andern Namens für die magnetische Klasse. Das Wort *magnetisch* muſs allgemein genommen und alle vom Magnetismus hervorgebrachten Phänomene und Effecte umschlieſsen. Dann aber ist für die der diamagnetischen Klasse entgegenstehende Abtheilung ein Wort nothwendig. Da die Sprache dieses Zweiges der Wissenschaft wohl bald eine allgemeine und sorgfältige Abänderung verlangt, so habe ich, mit Hülfe eines Freundes geglaubt, daſs auch ein nicht mit Sorgfalt gewähltes Wort schon vorläufig von Nutzen seyn könnte; da der Magnetismus des Eisens, Nickels und Kobalts, wenn sie im Magnetfelde sind, dem der Erde als Ganzes gleich ist, und sie, wirksam gemacht, sich deren Axe oder Magnetkraftlinien parallel stellen, so habe ich gemeint, daſs sie und ähnliche

Digitized by Google

Körper (jetzt auch der Sauerstoff) paramagnetische genannt werden könnten, so daſs also die

magnetischen zerfallen in { paramagnetische
diamagnetische.

Sollte dieser Versuch zur Erleichterung des Ausdrucks nicht beifällig aufgenommen werden, wird er hoffentlich Entschuldigung finden.

2791. Vermöge der Gegenwart des Sauerstoffs in der Luft, ist diese als Ganzes ein magnetisches Medium von nicht geringer Kraft. Alle vergleichenden Versuche über den Diamagnetismus anderer Gase, die man in Strömen durch die Luft oder durch einander gehen läſst [1]), erfordern also eine Berichtigung, welche bisweilen einen solchen Körper auf die paramagnetische Seite des Nullpunkts bringen kann. Ich hoffe jedoch bald im Stande zu seyn, nicht allein den Ort von Körpern, sondern auch die relativen Grade iher Kraft, bei gleicher und bei verschiedener Temperatur, mit einer Genauigkeit bestimmen zu können, die sehr zur ferneren Entwicklung dieses Zweiges der Wissenschaft dienen wird.

2792. Unter den bisher untersuchten Gasen, ist keins, welches mit dem *Sauerstoff* verglichen werden könnte. Neben demselben sind die folgenden vergleichungsweise indifferent: *Chlor, Bromdampf, Cyan, Stickgas, Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, ölbildendes Gas, Stickstoff-Oxydul* und *-Oxyd, salpetrigsaurer Dampf, Salzsäure, schweflige Säure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Steinkohlengas, Aetherdampf* und *Schwefelkohlenstoffdampf;* denn obwohl einige, wie *ölbildendes* und *Cyan-Gas,* etwas diamagnetisch zu seyn scheinen, und andere wie *Stickstoffoxydul* und *Stickstoffoxyd* magnetisch sind, so verschwinden doch ihre Wirkungen im Vergleich zu der des Sauerstoffs.

2793. Ich hoffe später den richtigen Ausdruck für die

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 407, 420 etc. (Ann. Bd. LXXIII. S. 265 und 283.)

Digitized by Google

paramagnetische Kraft des Sauerstoffs (2783) zu geben, mittlerweile will ich versuchen hier, zu den früheren, noch ein Paar rohe Schätzungen ihrer Stärke zu liefern. Die Räumlichkeit der mit Sauerstoff von einem Atmosphären-Druck gefüllten Röhre beträgt nicht ganz 0,34 Kubikzoll; der Sauerstoff darin wiegt also 0,117 Gran. Ich bemühte mich diese Menge zunächst mit weichem Eisen zu vergleichen, und hing daher ein Zehntel dieses Gewichts oder 0,012 Gran Eisen vermöge eines zarten Platindrahts mitten in einem Gefäſse auf, welches an Gröſse dem den Sauerstoff einschlieſsenden entsprach, pumpte dieses Gefäſs aus und schmolz es hermetisch zu. Der Sauerstoffröhre im Magnetfelde gegenübergestellt, fand sich, wie erwartet ward, daſs es an Magnetkraft den Sauerstoff weit übertraf. Da es unbequem war, das Eisen noch kleiner, oder das Sauerstoffvolum noch gröſser zu nehmen, so wurde eine andere Substanz zum Vergleich gewählt.

2794. Ich löste 100 Gran von reinem, gut krystallisirtem Eisenvitriol in destillirtem Wasser und verdünnte die Lösung soweit, bis ein Glaskölbchen, von nahe gleicher Gröſse wie das Sauerstoffkölbchen, damit gefüllt, der Kraft des Sauerstoffkölbchen gleich war, oder beide, so weit ich durch meine gegenwärtigen Beobachtungsmittel mochte beurtheilen, gleich weit von der axialen Linie abstanden. Bei dieser Verdünnung nahm die Lösung ein Volum von 17½ Kubikzoll ein. Da das Sauerstoff-Volum nur 0,34 Kubikzoll (2793), betrug, so würde ein solches Volum von der Lösung sehr nahe 2 Gran krystallisirten Eisenvitriols enthalten, entsprechend 0,4 Gran metallischen Eisens. Bei gleichem Volum ist also der Sauerstoff ebenso magnetisch wie eine wäſsrige Eisenvitriol-Lösung, die das 17fache Gewicht des Sauerstoffs an krystallisirtem Eisenvitriol oder das 3,4fache Gewicht an metallischem Eisen in diesem Verbindungszustand enthält.

2795. Ferner wurden die Röhren, welche respective Sauerstoff von einer Atmosphäre und ein Vacuum (2780) enthielten, einen Zoll auseinander, zu beiden Seiten der

Digitized by Google

Magnetaxe angebracht und dann die Magnetkraft entwickelt. Der Sauerstoff näherte sich natürlich der Magnetaxe und das Vacuum ging aequatorial. Ein vor der Lampe ausgezogener und auf einem Fuſse befestigter Glasfaden von 6 Zoll wurde angewandt, um mit seinem Ende die Sauerstoffröhre in ihre frühere Lage zurückzuführen und mit der Vacuum-Röhre in gleichen Abstand von der Magnetaxe zu bringen. In dieser Lage würden die beiden Röhren, was das Glas betrifft, einander neutralisiren (2775); und betrachtet man das Vacuum als Null, oder den Sauerstoff als alleinig wirksam, so ist die Kraft, welche erforderlich war, um letzteren festzuhalten, diejenige, mit der er im Abstande von einem halben Zoll zu der Magnetaxe zu gehen trachtete. Die Biegung des Glasfadens, an dem Orte, wo sie die Röhre hielt, betrug etwas mehr als einen Zoll. Fortgenommen und in horizontale Lage gebracht (auch um 90° um seine Axe gedreht, damit der Faden in derselben Richtung gebogen würde wie zuvor), wurde er dort, wo er früher die Röhre berührt hatte, mit Gewichten beschwert, bis dieselbe Biegung wie zuvor erreicht war. Es war dazu etwas mehr als ein Zehntel-Gran erforderlich, was, wenn man erwägt, daſs der Sauerstoff nur 0,117 Gran wog und kein Theil desselben der Magnetaxe näher lag, sein mittlerer Abstand von ihr sogar mehr als einen Zoll betrug, einen hohen Begriff von der Magnetkraft desselben giebt.

2796. Es ist kaum nöthig zu sagen, daſs der Sauerstoff, bei einem so merkwürdigen und hohen Grad von Magnetkraft, nicht in der Atmosphäre existiren kann, ohne nicht auf die Anordnung des Magnetismus der Erde einen höchst wichtigen Einfluſs auszuüben, besonders wenn man erwägt, daſs seine Magnetkraft durch Veränderungen der Dichte und der Temperatur so sehr verändert wird [1]). Ich glaube hierin die wahre Ursache der mannigfaltigen Veränderungen des tellurischen Magnetismus zu erblicken, die man an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche mit so vieler Sorgfalt verfolgt hat und noch verfolgt. Das gilt

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 417. (Ann. Bd. LXXIII. S. 280.)

Digitized by Google

sowohl von der täglichen wie von der jährlichen Veränderung ebenso von sehr vielen der unregelmäſsigen Variationen, welche durch die photographischen Aufzeichnungsmethoden so schön hervortreten. Bestätigen sich diese Ansichten, zeigt sich, daſs der Einfluſs der Atmosphäre im Stande ist dergleichen Resultate hervorzubringen, so werden wir auch wahrscheinlich eine neue Relation zwischen dem Nordlicht und dem Erdmagnetismus auffinden, nämlich eine Relation mehr oder weniger hergestellt durch die Luft selbst, in Verbindung mit dem Raum über ihr; und selbst magnetische Relationen und Variationen, die bisjetzt nicht geahnet werden, können bei fernerer Entwicklung dessen, was ich *atmosphärischen Magnetismus* (2847 etc.) zu nennen wagen werde, aufgefunden und meſsbar gemacht werden. Vielleicht bin ich in diesen Hoffnungen zu sanguinisch, allein bisjetzt finde ich mich bestärkt in denselben durch die anscheinende Wahrheit, Einfachheit und Hinlänglichkeit der vorausgesetzten Ursache. Sobald ich diese Ansichten genügend erwogen, und an den Beobachtungen geprüft haben werde, werde ich mich beehren sie der Königl. Gesellschaft vorzulegen.

Royal Institution, 2. August 1850.

V. *Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Aus derselben Quelle wie die vorige Abhandlung.)

§. 32. Magnetisches Leitvermögen.

I. Magnetische Leitung.

2797. Die in einer früheren Reihe dieser Untersuchungen (2757 etc.) gegebenen merkwürdigen Resultate hinsichtlich der kräftigen Tendenz gewisser gasförmiger Substanzen, je nach ihrer Beziehung zu anderen gleichzeitig an-

Digitized by Google

wesenden Substanzen, entweder zu oder von der Mittellinie der Magnetkraft zu gehen, und dennoch keine Condensation oder Expansion zu zeigen (2756), welche die Folge wäre einer Anziehungs- oder Abstoſsungskraft, die man zur Hervorbringung einer solchen Tendenz für nöthig erachten könnte, haben mich zu der Idee geführt, daſs die Annahme eines verschiedenen *Leitvermögens* dieser Substanzen für Magnetismus alle Erscheinungen erklären und damit auch die Natur der Magnetkraft weiter entfalten würde. Ich wage daher hier über diesen Gegenstand frei zu denken und zu sprechen, um Andere auf die Betrachtung desselben hinzuleiten, obgleich ich dabei Gefahr laufe, wegen Unvollkommenheit der Versuche und der Schluſsfolgen, in Irrthümer zu verfallen. Ich stelle jedoch die Sache bisjetzt nur hypothetisch hin und gebrauche das Wort *Leitvermögen* nur als einen allgemeinen Ausdruck für die Fähigkeit gewisser Körper, die Transmission der Magnetkraft zu afficiren, ohne etwas über die Art des Processes zu sagen. So beschränkt in seinem Sinne, kann das Wort sehr nützlich seyn, indem es uns in den Stand setzt, eine groſse Klasse von Erscheinungen unter allgemeinem Gesichtspunct zusammenzufassen.

2798. Wenn ein Medium von gewissem Leitvermögen das Magnetfeld einnimmt und darauf eine Portion eines anderen Mediums oder Körpers von gröſserem Vermögen in dasselbe Feld gebracht wird, strebt das letztere zu Orten gröſserer Kraft und verdrängt das erstere. Solches ist wenigstens der Fall mit Körpern, welche deutlich (*freely*) magnetisch sind, wie Eisen, Kobalt, Nickel und deren Verbindungen (2357. 2363. 2367 etc.), und das ist auch analog den Erscheinungen der elektrischen Induction. Wird eine Portion von noch höherem Leitvermögen angewandt, so nähert sie sich der axialen Linie und verdrängt die dahin gegangene, so daſs es scheint, als würde durch diese Art von Differentialaction (2367 2414) ein Körper von gewissem Leitvermögen angezogen in einem Medium von geringerem, und abgestoſsen in einem Medium von stärkerem Vermögen.

Digitized by Google

2799. So wie diese Idee von Leitung uns Rechenschaft giebt von dem Ort, den eine Substanz annimmt, z. B. Sauerstoff in der axialen Linie, wenn es sich im Stickstoff befindet, und Stickstoff entfernt davon, wenn es von Sauerstoff umgeben ist, so kommt sie auch mit der Thatsache überein, dafs in einem einzelnen das Magnetfeld einnehmenden Gase keine Ströme vorhanden sind (2754), denn jedes Theilchen kann dann so gut leiten als ein anderes und wird daher seinen Ort behaupten: auch stimmt sie, glaube ich, mit der Unveränderlichkeit der Volume (2750).

2800. In Betreff des letzteren Punktes haben wir zu erwägen, dafs die Kraft, welche einen solchen Körper, wie Sauerstoff, gegen die Mitte des Feldes treibt, keine Centralkraft wie die Gravitation, auch keine Anziehung einer Reihe von Theilchen unter einander ist, sondern eine axiale Kraft, welche, als von sehr verschiedenem Charakter in Richtung der Axe und in der der Radien, ihre Wirkungen ganz anders als eine reine Centralkraft ausüben kann und mufs. Dafs diese Unterschiede existiren, erhellt aus der Wirkung durchsichtiger Körper auf einen Lichtstrahl im Magnetfelde und ebenso aus der gewöhnlichen Wirkung magnetischer Körper. Das ist vielleicht der Grund, weshalb, wenn der Sauerstoff in Folge seines Leitvermögens in die Mitte des Feldes gezogen wird, seine Theilchen nicht zusammengeprefst werden (2721) durch eine Kraft, die sonst dasselbe bewirken müfste (2766).

2801. Wenn zwei getrennte Portionen Sauerstoff oder Stickstoff sich im Magnetfelde befinden, geht die eine ein- und die andere auswärts, ohne Contraction oder Expansion ihrer relativen Volume. Das Resultat ist ein differentiales, indem die beiden Körper in *Beziehung* oder *Abhängigkeit* zu einander stehen, und durch gleichzeitige Beziehung zu den Magnetkraftlinien, die durch sie beide oder durch sie und das Medium ihrer gemeinschaftlichen Umgebung gehen.

2802. In Bezug auf die Transferenz der Magnetkraft nach Innen (2787) habe ich schon gesagt (2787), dafs der reine Raum oder das Vacuum eine solche Transferenz

Digitized by Google

erlaubt, unabhängig von jeder Function, die als von gleicher Natur mit dem Leitvermögen der Materie betrachtet werden kann, und in einer Weise, die mehr analog der ist, in welcher die Linien der Gravitationskraft und der statisch-elektrischen Kraft den bloſsen Raum durchdringen. Darnach zerfallen dann die Körper in solche, welche, wie der Sauerstoff, die Transmission dieser Kraft mehr oder weniger erleichtern, und in solche, welche, wie ölbildendes Gas oder Phosphor, dieselbe mehr oder weniger hemmen; ersteres sind die magnetischen oder paramagnetischen, (2790) letzteres die diamagnetischen Körper. Vielleicht ist es nicht richtig, diese beiden Eigenschaften durch das Wort *Leitung* zu bezeichnen; allein beim jetzigen Zustand der Frage und bei der schon gemachten Reservation (2797) kann es glaube ich bequem, ohne Verwirrung anzurichten, gebraucht werden.

2803. Wenn dieſs im Allgemeinen eine richtige Ansicht von der Natur und den Unterschieden der paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen ist, so können schwerlich die inneren Processe, durch welche sie ihre Functionen verrichten, dieselben seyn, obgleich sie vielleicht ähnlich sind. So *mögen* sie elektrische Circularströme in entgegengesetzter Richtung besitzen, allein ihre Verschiedenheit kann schwerlich als abhängig von dem Kraft-Unterschiede von Strömen in *gleicher* Richtung angesehen werden. Obgleich die Resultate, welche bei gleichzeitiger Anwesenheit zweier Substanzen im Magnetfelde erhalten werden, sich als differential betrachten lassen (2770 2768), selbst wenn eins von ihnen das allgemeine Medium ist, so ist doch falls die Ansicht richtig ist, in Folge des Daseyns des Leitvermögens in der Materie ein *einzelner* Körper, wenn er sich im Raume befindet, der Magnetkraft unterwürfig, und das Resultat ist: daſs wenn eine paramagnetische Substanz sich in einem Magnetfelde von ungleicher Kraft befindet, sie von schwächeren zu stärkeren Wirkungsorten zu gehen sucht, oder *angezogen* wird, und daſs ein diamagnetischer Körper unter gleichen Umständen von stärkeren zu schwä-

Digitized by Google

cheren Wirkungsorten zu gehen strebt oder *abgestoſsen* wird (2756).

2804. Die Materie, wenn man ihre Kräfte erwägt, kann hinsichtlich ihrer Quantität, entweder dem Gewichte oder dem Volum nach betrachtet werden. Im gegenwärtigen Fall, wo die erzeugten Effecte einen unmittelbaren Bezug zum bloſsen Raume haben (2787. 2802) scheint mir, daſs das Volum als Ausdruck zu nehmen sey, und beim Vergleiche einer Substanz mit einander nur die Anwendung gleicher Volume richtige Resultate geben könne. Keine andere Methode könnte bei dem Differential-Beobachtungssystem angewandt werden (2772. 2780).

2805. Ein anderer experimenteller Beweis für das Daseyn dieses Leitvermögens, als der aus Aenderung der Lage, durch deren Verschiedenheit ich die Eigenthümlichkeiten der paramagnetischen und diamagnetischen Körper zu erklären suchte, mag wohl erwartet werden, und er ist vorhanden; allein da gewisse, die Polarität betreffende Betrachtungen mich abhalten, zu frei auf Eisen, Kobalt und Nickel (2832) als Erläuterungen zu verweisen, und da bei anderen Körpern, paramagnetischen sowohl als diamagnetischen, die Effecte zu schwach sind, so werden sie später nach einer ferneren allgemeinen Betrachtung des Gegenstandes (2843) besser verstanden werden.

2806. Ich will nun versuchen, welchen Einfluſs paramagnetische und diamagnetische Körper, als Leiter angesehen (2797), auf die Kraftlinien im Magnetfelde ausüben. Jeder von Magnetkraftlinien durchschnittene Theil des Raumes kann für ein solches Feld genommen werden, und wahrscheinlich giebt es keinen Raum ohne sie. Von Ort zu Ort, entweder längs den Linien oder quer gegen sie, kann die Intensität der Kraft im Magnetfelde verschieden seyn; allein für die gegenwärtigen Betrachungen ist es besser, ein Feld von gleicher Magnetkraft anzunehmen, und ich habe früher (2465) beschrieben, wie dasselbe für einen gewissen beschränkten Raum dargestellt werden kann. In

solch

Digitized by Google

solch einem Felde variirt die Kraft weder längs den Linien noch quer gegen sie; allein die Verschiedenheit der Richtung ist so groſs und wichtig als je, und sie ward schon durch die Worte axial und aequatorial bezeichnet, je nachdem sie parallel oder winkelrecht gegen die Magnetaxe ist.

2807. Wenn ein paramagnetischer Leiter, z. B. eine Kugel von Sauerstoff, in ein solches, zuvor als frei von aller Materie betrachtetes, Magnetfeld gebracht wird, so bewirkt er eine Concentration der neben und durch ihn gehenden Linien, so daſs der von ihm eingenommene Raum mehr magnetische Kraft fortpflanzt als zuvor (Fig. 16 Taf. I.) Wenn andererseits eine Kugel von diamagnetischer Substanz in ein solches Feld gebracht wird, so veranlaſst sie eine Divergenz der Linien in aequatorialer Richtung (Fig. 17 Taf. I), und durch den von ihr eingenommenen Raum geht weniger Magnetkraft als zuvor.

2808. In dieser Weise afficiren die beiden Körper *erstlich die Richtung* der Kraftlinien, nicht allein in dem von ihnen eingenommenen Raum, sondern auch in dem benachbarten; und diese Veränderung in dem Laufe der Linien hat für beide Fälle entgegengesetzte Richtung.

2809. *Zweitens* afficiren sie die *Stärke* der Kraft an jeder Stelle des Raums in oder neben ihnen, denn da jeder Schnitt quer gegen die Linien eines solchen Magnetfeldes von bestimmter Kraftstärke, und in dieser Beziehung jedem anderen Querschnitt gleich seyn muſs, so ist es unmöglich eine Concentration innerhalb der Sauerstoffkugel (Fig. 16 Taf. I.) zu bewirken, ohne nicht zugleich in den auſserhalb axial gelegenen Theilen, wie *aa*, eine Concentration, und in den aequatorial gelegenen Theilen *bb* eine entsprechende Dilatation zu veranlassen. Andererseits wird der diamagnetische Körper (Fig. 17 Taf. I.) in den gegen ihn axial liegenden Theilen *cc* des Raums eine Schwächung, und in den aequatorialen Theilen *dd* eine Verstärkung der Magnetkraft veranlassen. Ist das Magnetfeld beschränkt in seiner Ausdehnung durch das Eisen, welches die Flächen der gegenüberstehenden Pole bildet (2465), so wird sogar

Digitized by Google

die Vertheilung des Magnetismus in dem Eisen selbst afficirt durch das Daseyn der paramagnetischen und diamagnetischen Körper, und dieſs wird in der That zu groſsem Maaſse geschehen, wenn aus der paramagnetischen Klasse Körper wie Eisen, Nickel oder Kobalt gewählt werden.

2810. Der Einfluſs dieser Störung der Kräfte an dem Orte eines im Magnetfelde befindlichen paramagnetischen und diamagnetischen Körpers läſst sich leicht durch Betrachtungen und durch Versuche nachweisen. Ein Eisenkügelchen, welches sich in einem durch Eisenpole begränzten Felde von gleicher Kraft befindet, hat in gleichem Abstand von den Polen eine instabile Gleichgewichtslage, und zugleich findet sowohl in demselben, als an den ihm gegenüberstehenden Polen, als auch in den dazwischen liegenden axialen Räumen eine groſse Concentration der Kraft statt. Wird das Kügelchen aus der Mitte gebracht, so fliegt es nach der nächsten Polfläche und dann kann es den gröſsten Betrag von Magnetkraft an oder auf die durch dasselbe gehenden Axiallinien bringen.

2811. Ist das Eisen ein Sphäroïd, so stellt sich sein gröſster Durchmesser axial, es mag sich in der instabilen Gleichgewichtslage befinden oder näher an den Polen oder im Contact mit ihnen. Da nun die Umstände für die Concentration der Kraft auf die durch dasselbe gehende Axiallinie günstiger sind als zuvor, so kann dieſs Resultat mit weit schwächeren paramagnetischen Körpern erreicht werden als mit dem Eisen, z. B. wie ich nicht zweifle, leicht mit einem Gefäſs voll Sauerstoff- oder Stickstoffoxydgas (2782. 2792). Es wird nun in der That eine, obwohl nicht die beste, Form von jenem Experiment, durch welches die magnetische Beschaffenheit der Körper am schärfsten nachgewiesen wird.

2812. Die relative Schwäche der Kraft bei diamagnetischen Körpern macht jeden Versuch, die umgekehrten Phänomene von denen des Eisens zu erhalten, etwas schwierig. Um die Umstände etwas zu erhöhen, wandte ich daher eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol im Magnetfelde an

Digitized by Google

und verstärkte hiedurch die durch dasselbe gehenden Kraftlinien, ohne deren Gleichgewicht in den angewandten Theilen zu stören, oder in das Princip des Experiments einen Fehler einzuführen; dann gebrauchte ich Wismuth als diamagnetischen Körper. Ein Cylinder davon, senkrecht aufgehängt, strebte nach der Mitte des Abstandes und fand dort, wo der paramagnetische Körper im instabilen Gleichgewicht gewesen war, den Ort seines stabilen Gleichgewichts. War der Cylinder horizontal aufgehängt, so stellte er sich aequatorial.

2813. Diese relativen und umgekehrten Lagen paramagnetischer und diamagnetischer Körper in einem Felde von überall gleicher Magnetkraft, stimmen wohl überein mit ihren bekannten Relationen zu einander und mit der schon (2807) im Princip niedergelegten Wirkungsart, wie mit der, welche sie auf die Magnetkraft ausüben, der sie unterworfen sind. Man wird sie dem Gedächtniſs einprägen, wenn man erwägt, daſs eine Kugel von einem flüssigen paramagnetischen Leiter, die sich an dem Wirkungsorte befände, bei Erregung der Magnetkraft sich axial verlängern und in ein oblonges Sphäroïd übergehen würde, während eine Kugel von diamagnetischer Flüssigkeit eine Ausdehnung in aequatorialer Richtung, oder eine Verwandlung in ein abgeplattetes Sphäroïd erlitte.

2814. Die *gegenseitige Wirkung* zweier Portionen von paramagnetischen Substanzen, die beide in einem Felde von gleicher Magnetkraft befindlich sind, läſst sich aus den allgemein bekannten Principien (2807. 2830) und Thatsachen voraussehen. Zwei Eisenkugeln* in derselben Aequatorial-Ebene gehalten, stoſsen einander stark ab; werden sie aber aus jener Ebene gebracht, so verlieren sie erstlich ihre gegenseitige Abstoſsungskraft und dann ziehen sie einander an, am stärksten, wenn sie in einer axialen Richtung sind.

2815. Bei diamagnetischen Körpern ist die gegenseitige Einwirkung schwieriger zu bestimmen, wegen der verhältniſsmäſsigen Schwäche ihrer Kraft. Ich griff daher zu dem

Digitized by Google

früher beschriebenen Hülfsmittel, indem ich eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol als das, das Feld von gleicher Magnetkraft einnehmende, Medium gebrauchte und zwei Phosphorcylinder von etwa einem Zoll Länge und einem halben Zoll im Durchmesser zu diamagnetischen Körpern nahm. Einer derselben wurde aufgehängt an dem Ende eines Hebels, welcher selber an Kokonfäden hing, so daſs er eine äuſserst freie Bewegung hatte, und die Ajustirungen waren so getroffen, daſs der Phosphorcylinder, wenn er in der Mitte des Magnetfeldes war, sich ungehindert aequatorial oder quer gegen die Magnetkraftlinien bewegen konnte; er hatte jedoch dazu keine Tendenz als er unter Einfluſs der Magnetkraft war. Der andere Cylinder war mit einer Handhabe von Kupferdraht versehen, mittelst der er an dieser oder jener Seite des ersten Cylinders befestigt werden konnte. Er wurde dicht neben demselben aufgestellt, und beide wurden dann festgehalten bis jede aus Bewegungen der Flüssigkeit und Luft entstehende Störung verschwunden war. Nach Entfernung des festhaltenden Körpers behielten die beiden Phosphorcylinder noch ihren Platz. Endlich wurde die Magnetkraft in Thätigkeit gesetzt, und sogleich trennte sich der bewegliche Cylinder von dem festen bis zu einem gewissen Abstand. Wurde er, während der Magnet thätig blieb, zurückgeführt und dann losgelassen, so ging er wieder fort, behielt aber seine Lage in der Nähe, wenn die Magnetkraft aufgehoben worden war. Dieser Vorgang erfolgte sowohl in der einen als in der anderen Richtung, je nachdem der feste Cylinder sich an dieser oder jener Seite des beweglichen befand; allein die Bewegung geschah in beiden Fällen winkelrecht gegen die Magnetkraftlinien, war in der That mechanisch und durch die Aufhängweise auf diese Richtung beschränkt. Als zwei Wismuthkugeln respective zu einander in Richtung der Magnetaxe so aufgehängt wurden, daſs die eine sich bewegen konnte und zwar nur in Richtung der Magnetaxe, wurde die Lage dieser durch die andere nicht merklich afficirt. Die Tendenz der beweglichen, nach der Mitte des

Feldes zu gehen (2812) überwog jede andere, welche etwa vorhanden seyn mochte.

2816. Zwei im Magnetfelde befindliche diamagnetische Köper wirken also in der That auf einander; allein, was Richtung betrifft, nicht umgekehrt wie die paramagnetischen Körper, da in beiden Fällen eine Trennung der Körper erfolgt.

2817. Der Vergleich der Wirkung para- und diamagnetischer Körper auf einander wurde dadurch vervollständigt, dafs man Wasser als Medium in einem Felde von gleicher Magnetkraft anwandte und darin ein Stück Phosphor an der Torsionswaage aufhing. Nach Erregung der Magnetkraft wurde dieses Stück durch ein zweites Phosphorstück aequatorial abgestofsen, wie zuvor; allein durch eine Röhre voll gesättigter Eisenvitriollösung angezogen. Sonach ziehen paramagnetische und diamagnetische Körper einander an in einem mittleren Medium, allein Körper gleicher Art stofsen einander ab (2831).

II. Leitungspolarität. (*Conduction polarity.*)

2818. Nachdem somit die Effecte, welche die paramagnetischen und diamagnetischen Körper durch die von ihnen bewirkte Störung der Magnetkraftlinien hervorzubringen vermögen (2807), kurz betrachtet sind, will ich die Aufmerksamkeit auf das lenken, was als ihre Polarität angesehen werden kann; ich wünsche jedoch nicht mit diesem Worte einen inneren Zustand der Substanzen oder ihrer Theilchen zu bezeichnen, sondern nur den Zustand (*condition*) der Masse, als Ganzes, in Bezug auf den Zustand (*state*), in welchen sie durch die von ihnen selbst veranlafste Störung der Magnetkraftlinien versetzt werden, und zwar sowohl in Bezug auf andere ähnlich afficirte Körper, als in Bezug auf Unterschiede zwischen den verschiedenen Theilen ihrer eigenen Masse. Ein solcher Zustand begreift das, was Leitungspolarität genannt seyn mag. Körper, die sich wenn sie unter magnetischer Wirkung stehen, im freien Raum befinden, erleiden sie in ihrem einfachsten Zustand;

Digitized by Google

Körper aber, die in andere Media getaucht sind, erleiden sie unter complicirterer Form, und ihr Betrag kann dann bis zu sehr groſsem Grade verändert, verstärkt oder verringert werden.

2819. Nehmen wir den einfachsten Fall von paramagnetischer Polarität, der in Fig. 16 Taf. I. (2807) abgebildet ist; er besteht aus einer Convergenz der Magnetkraftlinien an zwei entgegengesetzten, in Richtung der Magnetaxe liegenden, Theilen des Körpers. Der Unterschied im Charakter der beiden Pole an diesen Theilen ist sehr groſs und entspringt aus dem bekannten Qualitätsunterschied in den beiden entgegengesetzten Richtungen der Magnetkraftlinien. Ob die polare Attraction oder Repulsion unter paramagnetischen Körpern existire, wenn sie bloſs Fälle von Leitung darbieten (wie z. B. Sauerstoff) ist noch nicht gewiſs (2827), aber wahrscheinlich, und wenn es der Fall ist, werden sie unzweifelhaft übereinstimmen mit der Attraction und Repulsion von *Magneten*, die entsprechende Pole haben.

2820. Betrachten wir die Leitungspolarität eines diamagnetischen Körpers, so machen sich die Dinge ganz anders. Er besitzt keine solche Polarität wie eine paramanetische Substanz, auch nicht die umgekehrte (im Namen oder in der Richtung der Kraftlinien) wie ich, Weber und Andere einst angenommen haben (2640), sondern einen ganz eigenthümlichen speciellen Zustand. Seine Polarität besteht aus einer Divergenz der Kraftlinien an den in Richtung der Magnetaxe liegenden Theilchen oder aus einer Convergenz von (*from*) den gegenüberstehenden; so daſs diese Pole, obgleich sie *dieselben* allgemeinen und entgegengesetzten Relationen zu einander besitzen, welche den Unterschieden der Pole paramagnetischer Körper entsprechen, doch jenen auffallenden Contrast und Unterschied gegen die Polarität der letzteren Körper zeigen, welcher durch Convergenz und Divergenz der Kraftlinien gegeben ist.

2821. Möge Fig. 18 Taf. I. ein begränztes Magnetfeld vorstellen, darin einen paramagnetischen Körper *P* und einen diamagnetischen *D;* ferner seyen *N* und *S* die beiden

Digitized by Google

mit dem Magnet verknüpften Eisenwände, welche dasselbe begränzen (2645), so können wir uns eine klare Idee von der Richtung der Magnetkraftlinien in dem Felde machen. Nun läſst sich von den Körpern *P* und *D* nicht sagen, sie hätten gleiche Polaritäten bloſs in entgegengesetzten Richtungen. Die Polarität 1 von *P* ist wesentlich ungleich der Polarität 3 von *D*; nähme man aber an, *D* hätte die umgekehrten Polaritäten von *P*, so müſste die Polarität 1 von *P* gleich seyn der Polarität 4 von *D*, wogegen sie dieser ungleicher ist als der Polarität 3 von *D* oder selbst ihrer eigenen Polarität 2.

2822. Es giebt also in der Natur der von Leitung abhängigen Polaritäten zwei Unterschiede: den einen in der Richtung der Kraftlinien an den Polarflächen, wenn der Vergleich mit einem umgekehrten Magnet gemacht wird, und den der Convergenz und Divergenz dieser Linien, wenn man den Vergleich mit einem nicht umgekehrten Magnet anstellt; daher befindet sich ein diamagnetischer Körper nicht in dem Zustand von Polarität, welcher durch Umkehrung eines paramagnetischen Körpers, der seinen magnetischen Zustand behält, vorgestellt werden kann.

2823. Diamagnetische Körper in Medien, die diamagnetischer sind als sie selbst, besitzen den polaren Zustand paramagnetischer Körper (2819); und ebenso würden paramagnetische Körper in Medien, die paramagnetischer sind als sie selbst, die Polarität diamagnetischer Körper besitzen.

2824. Auſser diesen Unterschieden müssen die Körper noch einen aequatorialen Zustand haben, welcher bei beiden Klassen von Leitern correspondirende Effecte hervorzubringen vermag. Der ganze aequatoriale Theil von *P* (Fig. 18) ist gleich in Bezug auf den Körper *P* oder auf die Kraftlinien in dem umgebenden Raum; und eine gleiche Correspondenz herrscht in den aequatorialen Theilen von *D*, sowohl in Bezug auf diesen selbst, als auf den Raum. Allein diese Theile von *P* oder von *D* sind verschieden an Kraftstärke sowohl unter einander, als von der allgemeinen Intensität des Raums. Solche aequatoriale Zustände

müssen, glaube ich, als Folge des bestimmten Charakters eines gegebenen Querschnitts des Magnetfeldes existiren (2809).

2825. Obwohl es an experimentellen Beweisen dieser Polaritäten nicht fehlt, so sind sie doch nicht augenfällig oder unter auffallender Form darstellbar, und zwar wegen der ungemeinen Schwäche der hier ins Spiel kommenden Kräfte, verglichen mit denen, die bei gegenseitiger Wirkung von Magneten auftreten. Deshalb sind so manche Versuche zum Erweise einer solchen Polarität beim Wismuth fehlgeschlagen, oder andere nicht hierher gehörige Erscheinungen mit ihr verwechselt. Die stärkste und deshalb empfindlichste Probe auf Polarität, die wir besitzen, besteht darin, dafs wir den Körper der Richtlinie sehr starker Magnetkräfte unterwerfen, und deshalb wird das Einstellen zwischen den Polen eines kräftigen Magnets beständig für solchen Zweck benutzt. Durchaus vergebens wäre es und ist es, eine gegenseitige Wirkung zwischen den Polen zweier schwacher paramagnetischer oder diamagnetischer Leiter zu erwarten, in vielen Fällen, wo die Wirkung dieser selben Pole sich aufs deutlichste äufserst in ihrer Relation zu den fast unendlich stärkeren Polen eines kräftigen Stahl- oder Elektromagnets.

2826. Ich füllte eine Röhre *a* mit gesättigter Lösung von schwefelsaurem Kobalt (Fig. 19 Taf. I.) und hing sie zwischen den Polen des grofsen Elektromagnets auf; sie stellte sich leicht und gut. Eine andere Röhre *b* wurde nun mit gesättigter Eisenvitriollösung gefüllt, und, nachdem sie an den *S*-Pol gelegt worden, in der abgebildeten Weise der Kobaltröhre nahe gebracht; allein es war nicht die geringste Einwirkung auf die Lage von *a* zu beobachten. Die Röhre *b* wurde in die Lage *c* gebracht, um jeden etwa vorhandenen Effect zu verdoppeln; allein es war keine Spur von gegenseitiger Einwirkung zwischen den Polen *a* und *b* sichtbar (2819).

2827. Um die Wirkung zu vergröfsern, wurde die Röhre mit magnetischer Lösung in Wasser, als einem guten diamagnetischen Medium, zwischen flachen Polen aufge-

hängt (Fig. 20 Taf. I.); sie stellte sich. Zwei Flaschen mit gesättigter Eisenvitriollösung, die in *d* und *e* aufgestellt wurden, änderten nicht die Lage von *a;* und auch als sie in die Stellungen *f* und *g* versetzt wurden, übten sie auf dieselbe keinen merkbaren Einfluſs. Ich machte denselben Versuch mit einer Luftröhre in Wasser, worin dieselbe sich axial stellt (1406); aber mit gleich negativem Erfolg. Ich will nicht behaupten, daſs in diesen Fällen durchaus keine Wirkung vorhanden war (2819); allein, wenn eine da war, muſste sie unwahrnehmbar klein gewesen seyn, und dieſs zeigt, wie ungenügend dergleichen Mittel sind, um diese Wirkungen zu vergleichen mit denen, welche die Einstellung eines Körpers unter dem Einflusse kräftiger Magnete liefert. Wenn durch diese Methoden bei so stark influencirbaren paramagnetischen Körpern wie gesättigte Lösungen von Eisen, Nickel und Kobalt, keine Polarität nachgewiesen werden kann, so läſst sich schwerlich erwarten, daſs sie sich durch analoge Actionen bei den weit schwächer wirkenden diamagnetischen Körpern äuſsern werde.

2828. Wird ein sphärischer paramagnetischer Leiter in die Mitte eines Feldes von gleicher Magnetkraft gebracht [1]), so nimmt er einen Ort instabilen Gleichgewichts ein, aus welchem er, auch nur ganz wenig verschoben, sich fortwährend bewegt, bis er die eisernen Gränzwände des Feldes erreicht hat (2465. 2810); dieſs ist Folge seines besondern polaren Zustandes. Vermöchte die Kugel ihre Gestalt zu ändern, so würde sie in Richtung der Magnetaxe sich verlängern, und, wäre sie starr von verlängerter Gestalt, so würde sie sich axial stellen, beides in Folge ihres polaren Zustandes (2811).

2829. So zeigt sich auch bei diamagnetischen Körpern ihr eigenthümlicher Polarisationszustand durch entsprechende Thatsachen, nämlich dadurch, daſs eine Kugel ihren stabilen

1) Soll wohl heiſsen: in ein Feld, worin die Kraft von der Mitte aus nach den Enden zunimmt; in einem Felde von überall gleicher Kraft könnten die in 2828 und 2829 aufgezählten Vorgänge nicht stattfinden. *P.*

Gleichgewichtsort in der Mitte des Magnetfeldes hat (2812), daſs sie, falls sie flüssig ist, sich aequatorial ausdehnt und in ein abgeplattetes Sphäroïd übergeht (2813), und daſs ein verlängertes Stück sich aequatorial stellt (2812). Werden zugespitzte Magnetpole gebraucht, so sind die Wirkungen weit stärker, aber genau von derselben Art, abhängig von denselben Ursachen und polaren Zuständen.

2830. Es giebt eine andere Reihe von Effecten, welche entweder die Resultate der schon erwähnten axialen Polarität sind oder sich als Folgen des Zustandes der aequatorialen Theile der Leiter (2824) betrachten lassen. Zwei Eisenkügelchen, in einem Felde von gleicher Kraft, in einer auf der Kraftlinie rechtwinklichen Ebene d. h. mit ihren aequatorialen Theilen neben einander liegend gehalten, trennen sich von einander mit bedeutender Kraft (2814) und wahrscheinlich würden sich zwei unendlich schwächere Körper der diamagnetischen (*paramagnetic*) Klasse ebenso trennen. Zwei Stücke von Phosphor, also einer diamagnetischen Substanz, trennten sich auch, wie sich fand, unter denselben Umständen.

2831. Die Bewegungen sind hier von gleicher Art, wogegen man entgegengesetzte erwarten sollte (2816); dennoch sind sie vollkommen vereinbar. Die diamagnetischen Körper müssen sich trennen, weil das Feld zwischen ihnen reicher an Magnetkraftlinien ist als an den Auſsenseiten, wie aus der Betrachtung der beiden Kugeln (Fig. 21 Taf. I.) leicht ersichtlich ist; und deshalb stimmt diese Bewegung überein mit dem Sich-Oeffnen und Aequatorialstellen getrennter Theilchen oder continuirlicher Massen solcher Substanzen (2829), in ihrer Tendenz, von stärkeren zu schwächeren Wirkungsorten zu gehen. Andererseits haben zwei Eisenkugeln zwischen sich schwächere Kraftlinien als auſseits; und da sie dahin streben, von schwächeren zu stärkeren Wirkungsorten zu gehen, so trennen sie sich auch, um die Bedingung des Kräfte-Gleichgewichts zu erfüllen. Endlich ziehen ein paramagnetischer und ein diamagnetischer Körper einander an (2817), und sie müssen es, denn

Digitized by Google

der diamagnetische Körper findet gegen den paramagnetischen hin einen Ort von schwächerer Wirkung, und der paramagnetische Körper findet in der Nähe des diamagnetischen einen Ort von stärkerer Wirkung. Siehe *P* und *D* Fig. 21.

2832. Zur Erläuterung der Wirkung paramagnetischer Leiter habe ich oft vom Eisen gesprochen und die Polarität desselben als gleich mit der dieser Leiter betrachtet; allein ich muſs jetzt einen Unterschied klar machen, der, meiner Meinung nach, zwischen der Polarität eines Magnets und der bloſsen, wie ich sie nenne, Leitungspolarität besteht. Dieser Unterschied hat einen wichtigen Einfluſs beim Eisen. Ein permanenter Magnet hat eine Polarität in sich und diese besitzen auch seine Theilchen; sie hängt wesentlich ab von der Kraft, welche der Magnet inhärent besitzt. Sie sowohl, wie die Kraft, welche sie erzeugt, ist von solcher Natur, daſs wir dem bloſsen, von Materie freien Raum nicht die eine oder andere beilegen können, was für eine Form wir auch für den Raum voraussetzen oder wie starke Magnetkraftlinien wir auch denselben durchkreuzen lassen. Die Polarität eines Leiters ist nicht nothwendig von dieser Art, rührt nicht her von einer bestimmten Anordnung der Ursache oder Quelle der magnetischen Action, welche ihrerseits die specielle Richtung der Kraftlinien (2807) überwältigt und bedingt, sondern sie ist einfach Folge einer Condensation oder Expansion dieser Kraftlinien, je nachdem die betrachtete Substanz mehr oder weniger geeignet ist, den Einfluſs vorwärts zu führen. Es ist offenbar etwas sehr Verschiedenes, einerseits solche Linien zu schaffen und *ihre Richtung zu bedingen*, und andererseits bloſs ihren Fortgang zu befördern oder zu verzögern, ohne irgend welchen Bezug auf ihre Richtung. Figürlich gesprochen, kann dieser Unterschied verglichen werden mit dem zwischen einer Volta'schen Batterie und den Leitungsdrähten, welche deren Enden verbinden. Der Strom geht durch beide, aber es ist die Batterie, worin er entsteht und seine Richtung erhält; der Draht ist nur ein besserer oder schlech-

Digitized by Google

ter Leiter desselben, kann ihn jedoch, je nach seiner Gestalt und Beschaffenheit, diffundiren, condensiren oder variiren.

2833. Ist diese Unterscheidung angenommen, haben wir zu erwägen, ob das Eisen unter dem Einfluſs der Magnetkraftlinien zu einem Magnete werde und seine eigene Polarität erlange, oder ob es bloſs ein paramagnetischer Leiter mit dem höchsten Grade von Leitvermögen sey. Im ersten Falle würde es die wahre Polarität eines Magnets besitzen, im zweiten nur diejenige, welche ich dem Sauerstoff und anderen Leitern beilege. Meiner Meinung nach ist das Eisen ein Magnet. Es kann, als Elektromagnet, zu einer *Quelle* von Magnetkraft von höchster Stärke erhoben werden; und obgleich es, wenn es weich ist, bei Unterbrechung des elektrischen Stroms, gewöhnlich fast alle seine Kraft verliert, so ist dieſs doch nicht der Fall, wenn es einen zusammenhängenden Ring bildet, denn alsdann kann es stunden- und wochenlang die Kraft behalten, und ist offenbar während dieser Zeit eine Quelle von Magnetismus unabhängig von jedem Volta'schen Strom. Hiernach glaube ich, daſs das Eisen unter dem Einfluſs der Magnetkraftlinien zu einem Magnet werden könne; und wenn es auch dann, was Richtung betrifft, dieselbe Art von Polarität besitzt wie ein bloſser den Magnetkraftlinien unterworfener paramagnetischer Leiter, so herrscht doch dabei ein groſser Unterschied; denn so wie jedes innere Eisentheilchen in gewissem Grade ein Magnetismus erzeugendes System wird, so sind die Polaritäten aller mit einander zu einem polaren Ganzen verknüpft, welches, so wie es unendlich intensiver ist, auch in der Anordnung der Kräfte in den einzelnen Theilchen sehr verschieden seyn kann von der Polarität eines bloſsen Leiters.

2834. Es scheint mir auch sehr wahrscheinlich, daſs Eisen, Nickel und Kobalt, wenn sie bis zu den respectiven Temperaturen erhitzt werden, bei welcher sie ihre wundervolle Kraft fast ganz verlieren (2347) und nur einen sehr kleinen, durch die empfindlichsten Mittel nachweisbaren Theil behalten (2343), in den Zustand der para-

Digitized by Google

magnetischen Leiter übergehen, die Fähigkeit zur Annahme des innern Polarisationszustandes eines Magnets verlieren, und keine andere Polarität behalten als die, welche ihnen als paramagnetische Substanzen angehören (2819). Es ist auch wahrscheinlich, daſs diese Metalle in vielen ihrer Verbindungszuständen den Zustand der bloſsen Leitung annehmen, so daſs z. B. das Eisen, während es im Oxydul ein Magnet seyn mag, im Oxyd ein bloſser Leiter ist, und in dieser Beziehung hat es nichts Auffallendes zu sehen, daſs der Sauerstoff, welcher als Gas ein paramagnetischer Körper ist (2782), das Eisen, bei gleichem Gewichte, auf seinen eigenen Zustand und weit darunter herabsetzt. Auch in ihren Salzen und Lösungen mögen diese Metalle, im Verein mit der mit ihnen verbundenen Substanz, als bloſse Leiter wirken.

2835. Vielleicht hätte ich die Concentration oder Expansion der Magnetkraftlinien in den als Leiter wirkenden Körpern nicht Polarität nennen sollen, in sofern die wahre magnetische Polarität wesentlich und alleinig von der *Richtung* der Kraftlinien abhängt, und nicht von einer bloſsen Compression oder Divergenz derselben. Allein ich habe es auch nur gethan, um leichter auf Thatsachen und Ansichten verweisen zu können, welche bisher verknüpft worden sind mit einer vermeintlichen Polarität in den Körpern, welche, ob paramagnetische oder diamagnetische, ich als bloſse Leiter betrachtet habe, und ich hoffe deshalb, daſs meine Meinung nicht miſsverstanden werde. Bereits entschuldigte ich den Gebrauch von Worten, wie Magnetkraftlinien, Leitvermögen u. s. w. (2149. 2797), da sie mich einstweilen von dem Zwange herkömmlicher Bezeichnungen befreien. Sie können aus diesem Grunde äuſserst nützlich seyn, so bald man ihre Bedeutung nur hinreichend beschränkt, und keine schädliche Nachlässigkeit und Ungenauigkeit in Darstellung der Thatsachen damit begeht.

Digitized by Google

III. Magnekrystallische Leitung[1]).

2836. Die schönen Untersuchungen von Plücker über die magnetischen Erscheinungen werden noch erinnerlich seyn und daneben hoffentlich auch meine eigenen über die Magnekrystallität (2454 etc.). Die von uns beschriebenen Erscheinungen haben, glaube ich, eine gemeinsame Ursache und gleiche Natur; und so weit sie reine und durchsichtige Körper betreffen, sind sie, meiner Meinung nach, durch Plücker in gehörige Relation zu der positiven und negativen optischen Axe solcher Körper gebracht worden[2]). In diesen Fällen stellt sich ein krystallisirter Körper kräftig ein und nimmt im Magnetfelde eine eigene Lage an (2464. 2479. 2550), unabhängig von seinem paramagnetischen und diamagnetischen Charakter (2562), so wie auch ohne Annahme eines Zustandes, den er aufserhalb des Magnetfeldes behielte (2504).

2837. Auf diese magnekrystallischen Körper angewandt, scheint die Idee der Leitung alle speciellen Erscheinungen derselben zu erklären. Eine magnekrystallische Substanz wäre dann eine, welche im krystallisirten Zustand vorwärts (*onwards*) leitete oder die Ausübung der Magnetkraft in einer Richtung mit gröfserer Leichtigkeit gestattete als in anderer; und diese Richtung wäre die Magnekrystallaxe. Im Magnetfelde würde also die Magnekrystallaxe in eine mit der Magnetaxe coïncidirende Lage getrieben werden durch eine jenem Unterschiede entsprechende Kraft, gerade wie von zwei verschiedenen Körpern der vom gröfseren Leitvermögen den vom schwächeren verdrängt.

2838. So wäre der Effect der Lage erklärt (2586) und auch die gröfsere Fähigkeit zur magnetischen Leitung in einer Richtung als in einer anderen (2588. 2591), und ebenso verschwindet, was mir früher so anomal erschien, in der Annahme, dafs eine Kraftlinie eine indifferente Relation

1) Ich mufs hier auf den wichtigen Aufsatz der HH. Tyndall und Knoblauch im *Phil. Mag.* 1850 *Vol. XXXVII. p.* 1. (Annalen Bd. 81, S. 481) hinweisen.

2) *Phil. Mag.* 1849 *Vol. XXXIV. p.* 450. (Ann. Bd. 77, S. 447.)

Digitized by Google

zu jedem Theil einer Ebene haben sollte (2600). Daſs Wärme dieſs Leitvermögen fortnimmt (2670), scheint mir vollkommen übereinzustimmen mit dem, was wir von dem Einfluſs der Wärme auf den Magnetismus des Eisens, Sauerstoffs u. s. w. so wie auf das elektrische Leitvermögen des Platins, Schwefelsilbers u. s. w. wissen. Endlich scheint auch die Voraussetzung nicht unverträglich mit dem Zustand, welchen die Körper, während sie unter Wirkung der Magnetkraft stehen, anzunehmen scheinen (2609).

2839. Bei Richtigkeit dieser Ansicht scheint indeſs zu folgen, daſs ein diamagnetischer Körper, wie Wismuth, bei paralleler Stellung seiner Magnekrystallaxe zur Magnetaxe, weniger diamagnetisch seyn müſste als bei winkelrechter. In diesen beiden Stellungen müsse er aequivalent seyn zweien Substanzen von verschiedenem Leitvermögen für Magnetismus, und deshalb müſste er an der Differentialwaage analoge Differentialphänomene darbieten wie Sauerstoff und Stickstoff (2774) oder Phosphor und Wismuth oder irgend zwei andere verschiedene Körper. Obgleich ich früher (2551. 2552. 2553) gewisse Resultate angegeben habe, die darauf hinzudeuten scheinen, so sind sie doch beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse nicht genügend, weil der Unterschied, wenn überhaupt einer vorhanden, zu klein ist (2552) und bei Anwendung eines einzelnen zugespitzten Pols schnell verschwindet. Andere früher (2554—61) beschriebene Versuche, obwohl zu dem beabsichtigten Zweck ganz geeignet, würden doch einen kleinen Unterschied in der magnetischen Kraft nicht zeigen, weil sie mit flachseitigen Polen und einem Feld von nahe gleicher Magnetkraft angestellt wurden.

2840. Die Differential-Torsionswaage (2773) setzte mich in den Stand, mit besserer Hoffnung auf Erfolg zu diesem Gegenstande zurückzukehren. Eine Gruppe übereinstimmend liegender (*consistent*) Wismuthkrystalle (2457) wurde an der einen Seite des Doppelkegel-Kerns (2738) aufgehängt und ihr gegenüber an der anderen Seite ein Cylinder von Flintglas. Das Flintglas wurde als Verglei-

Digitized by Google

chungspunkt gewählt, und daher in seiner Lage an der Waage und in der Beschaffenheit während des Versuchs nicht verändert. Die Wismuthgruppe war mit ihrer Magnekrystallaxe horizontal gelegt, und diese konnte in horizontaler Ebene gedreht werden, damit sie einmal parallel zu der Magnetaxe oder Kraftlinie und ein anderes Mal winkelrecht gegen dieselbe lag, jedoch ohne Veränderung des Abstandes ihres Schwerpunkts von dem gegenüberliegenden Glascylinder. Indem man ihr nun die eine oder andere Lage gab, konnte man sie mit dem Cylinder vergleichen.

2841. Die Magnekrystallaxe wurde zuvörderst dem Kern oder der Magnetaxe parallel gestellt, dann die Magnetkraft entwickelt und nachdem der diamagnetische Körper zur Ruhe gekommen war, die Lage des Waagbalkens beobachtet, mittelst eines Lichtstrahls, der von einem daran befestigten Spiegel reflectirt wurde. Dann wurde das Wismuth um 90° gedreht, oder seine Magnekrystallaxe winkelrecht gegen die Axe des Doppelkegel-Kerns gestellt; wenn nun der Magnet erregt ward, entfernte sich das Wismuth weiter ab vom Kern als zuvor. Nochmals um 90° gedreht, so daſs es diametral zu seiner ersten Lage war (2461), stellte es sich dem Magnet etwas näher; und in der vierten Lage, die diametral zur zweiten war, lag es wieder ferner davon. So erweiſst sich denn das krystallisirte Wismuth, je nach der Lage seiner Magnekrystallaxe, in verschiedenem Grade diamagnetisch; bei winkelrechter Lage dieser Axe gegen die Magnetkraftlinien ist es stärker diamagnetisch als bei paralleler; und somit fand sich die auf theoretische Betrachtungen (2839) gegründete Erwartung bestätigt.

2842. Ich versuchte ähnliche Resultate mit einem Kalkspathwürfel (2597) zu erhalten; denn es ist klar, daſs er, wenn man ihn mit seiner optischen Axe horizontal, zunächst parallel, dann winkelrecht zur Magnetaxe stellt, in der ersten Stellung diamagnetischer seyn muſs als in der zweiten, in sofern die letztere diejenige ist, welche er vermöge seines magnekrystallischen oder magneoptischen Zustan-

standes annimmt. Ich konnte jedoch kein deutliches Resultat erlangen, theils weil die Kraft des Kalkspaths in jeder Beziehung viel schwächer ist als die des Wismuths, theils weil meine jetzige Torsionswaage zu unvollkommen ist, theils auch wegen der Gestalt und Gröſse des Kalkspaths. Eine Kugel oder ein Cylinder, dessen Axe winkelrecht gegen die optische Axe wäre, würden zweckmäſsigere Formen für die zu untersuchenden Substanzen seyn.

2843. Indem ich diesen Theil der das magnetische Leitvermögen betreffenden Untersuchung schlieſse, will ich noch einige Fälle anführen, welche, glaube ich, experimentell das *Daseyn* desselben in beiden Klassen von magnetischen Körpern (2805) feststellen. Der Ort und die Lage des Eisens in einem Felde von gleicher Kraft (2810. 2811) sind offenbar die Resultate seines auſserordentlichen Vermögens, die Magnetkraft durch den von ihm eingenommenen Raum fortzupflanzen, die Theilchen des Eisens mögen nun als polar betrachtet werden oder nicht (2832), und deshalb sehe ich das umgekehrte Verhalten eines diamagnetischen Körpers, rücksichtlich des Orts und der Lage, (2812. 2813) als Beweis an, daſs er die Magnetkraft mit geringerer Kraft als der von ihm eingenommene Raum fortzupflanzen vermag, und daraus schlieſse ich, daſs er diamagnetisch leite (2802).

2844. Das Auseinanderweichen paramagnetischer Körper in aequatorialer Richtung ist ein Beweis von der Art, wie sie, vermöge ihrer besseren Leitung, die Lage der Kraftlinien in dem umgebenden Medium stören (2831). Das Auseinanderweichen diamagnetischer Körper unter gleichen Umständen ist ebenso ein Beweis von der Art, wie auch sie vermöge eines anderen Leitvermögens, die Anordnung der Kraft stören (2831). Die aequatoriale Anziehung zwischen einem paramagnetischen und einem diamagnetischen Körper, wenn sie sich in einem Medium befinden, welches im Leitvermögen zwischen ihnen steht (2831), ist ein Beweis nicht allein von Leitung in beiden, sondern auch vom

Digitized by Google

umgekehrten Verhalten beider zu einander und dem umgebenden Medium.

2845. Daſs ein Wismuth sich mehr oder weniger entfernt von der Magnetaxe stellt (2841), je nachdem seine Magnekrystallaxe parallel oder winkelrecht zur axialen Linie liegt, ist auch die Folge des Unterschiedes im Leitvermögen, und deshalb ein Beweis vom Daseyn dieses Vermögens im diamagnetischen Körper. Fälle, die für das Daseyn dieses Vermögens sprechen, ließsen sich noch mehre anführen, allein ich glaube die angeführten werden hinlänglich meine Meinung auseinandersetzen.

2846. Kaum habe ich wohl nöthig zu sagen, daſs ich unter magnetischer Leitung nicht Elektroleitung oder etwas Aehnliches verstehe. Die aller besten Elektroleiter, wie Silber, Gold und Kupfer, stehen hinsichtlich ihrer Fähigkeit, die Magnetkraft fortzuflanzen, unter dem bloſsen Raum; so sehr fehlt es ihnen an dem, was ich magnetische Leitung nenne. Zwischen dieser Leitung der Magnetkraft und dem, was ich früher bei der statischen Elektricität specifische inductive Capacität nannte (1252 etc.), herrscht eine auffallende Analogie, welche, wie ich hoffe, zu fernerer Erläuterung der Weise führen wird, in welcher die Kraftlinien von Körpern afficirt und zum Theil fortgepflanzt werden.

§. 33. Atmosphärischer Magnetismus [1]).

2847. Es scheint mir unmöglich zu seyn, daſs die Atmosphäre zu zwei Neunteln ihres Gewichts aus einem sehr

1) In den *Philosoph. Transact. ſ.* 1827 *p.* 308 steht ein sehr wichtiger Aufſatz vom Profeſſor Christie: *On the Theory oſ the Diurnal Variation oſ the Magnetic Needle.* Geleitet durch Seebeck's Entdeckung des Thermomagnetismus und Cumming's Versuche, wurde er zu untersuchen veranlaſst, wie weit die Idee von Thermoströmen oder von einer thermomagnetischen Polarität auf die Natur-Erscheinungen anwendbar sey, und kam zu dem Schluſs (*p.* 327), daſs in der Annahme, *die Erde und die Atmosphäre* bestehe aus Substanzen, in welchen unter Umständen eine solche Wirkung stattfinden könne, diese Versuche beweisen würden, daſs *jeder Theil der Erde, der von pa-*

magnetischen Körper bestehe, der durch vermöge des täglichen und jährlichen Lauſs der Sonne bewirkte Tempera-

rallelen Ebenen mit der umgebenden Atmosphäre begränzt wäre, ähnlich polarisirt werden würde, sobald ein Theil mehr als der andere erwärmt worden. So würden wir, wenn man bloſs die *Aequatorialregionen der Erde* betrachtete, *zwei Magnetpole an der Nordseite, und zwei ähnlich gelagerte an der Südseite haben, wobei die ungleichnamigen Pole einander an den entgegengesetzten Seiten des Aequators gegenüberständen.*

Ich muſs die Leser meiner Abhandlung verweisen auf eine von A. de la Rive aufgestellte Theorie der *Ursache* der täglichen Variationen, die auf die Idee von thermo-elektrischen Strömen in der Atmosphäre und der Erde gegründet ist. Sie findet sich in den *Ann. de chim. et de phys* 1849 *T. XXV. p.* 310, unter dem Titel: *Sur les variations diurnes de l'aiguille aimantée et sur les aurores boréales.*

Einer meiner Freunde hat mich kürzlich aufmerksam gemacht auf eine Bemerkung von Hrn. E. Bequerel, die mit dem vorliegenden Gegenstand in Beziehung steht und folgendermaſsen lautet: »*Si l'on réfléchit, que la terre est entourée d'une masse d'air équivalant au poids d'une couche de mercure de* 76 *centimètres, on peut se demander si une pareille masse de gaz magnétique, continuellement agitée, et soumise à des variations régulières et irrégulières de pression et de température n'intervient pas dans quelques-uns des phénomènes dependant du magnétisme terrestre. Si l'on calcule en effect, quelle est la puissance magnétique de cette masse fluide, on trouve qu'elle équivaut à une immense lame de fer, d'une épaisseur d'un peu plus de* 0,1 *millimètre de diamétre et qui couvrirait la surface totale de la globe*«. Diese Stelle findet sich in den *Ann. de chim. et de phys.* 1850 (*Vol. XXVIII. p.* 341 und 342), in einer vortrefflichen Abhandlung, in welcher der Verf. die von mir vor *fünf* Jahren entwickelten (*Experiment. Research* 2357. 2361. 2406. 2414) Differentialwirkungen verschiedener Gase gut ausgearbeitet hat. Durch solche Mittel hat er den Magnetismus des Sauerstoffs wieder entdeckt und dessen Kraft gemessen, offenbar unbekannt mit der Untersuchung, die ich über diese Substanz, in Bezug auf Stickstoff und andere Gase *drei* Jahre früher gab in einem Briefe, der im *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 401, in Poggendorff's Annalen (Bd. LXXIII. S. 256) und anderswo veröffentlicht ist. Ich darf mich nicht darüber wundern, da ich selbst Hrn. E. Bequerel's Aufsatz erst ganz kürzlich kennen lernte. In meinem Briefe von 1847 spreche ich von Sauerstoff als magnetisch in gemeiner Luft (*p.* 410), in Kohlensäure (*p.* 414), in Steinkohlengas (*p.* 415) und in Wasserstoff (*p.* 415), worin sein Magnetismus seinem Gewichte gleich sey. Ich sage, daſs die Luft ihren Ort dem darin enthaltenen Sauerstoff

Digitized by Google

tur- und Dichtigkeitsänderungen (2780) groſsen Veränderungen in seinem Magnetismus ausgesetzt ist, ohne daſs er nicht zugleich mit der Anordnung der Magnetkraft auf der Erdoberfläche zusammenhänge (2796) und somit vielleicht eine Erklärung liefere von einem groſsen Theil der jährlichen, täglichen und auf kurze Zeit eintretenden unregelmäſsigen Variationen, welche in dieser Kraft vorkommen. Ich kann nicht behaupten, diese groſse Frage mit vieler Einsicht zu behandeln, da ich von den Arbeiten v. Humboldt's, Hansteen's, Arago's, Gauſs's, Sabine's und anderer ausgezeichneter Physiker im Gebiete des tellurischen Magnetismus sehr wenig specielle Kenntniſs besitze. Allein da es mein Loos gewesen ist, gewisse fundamentale Thatsachen in die Physik einzuführen, und ich natürlich über die allgemeinen Principien ihrer Relationen zu den magnetischen Wirkungen der Atmosphäre viel nachgedacht habe, so mag es mir erlaubt seyn, diese Principien hinzustellen, so gut ich es vermag. Sind die Principien richtig, so werden sie bald ihre specielle Anwendung finden auf die an verschiedenen Orten der Erde vorkommenden magnetischen Erscheinungen.

2848. Die Erde erweist sich uns als einen sphärischen Körper, bestehend aus paramagnetischen und diamagetischen Körpern, die nicht allein gegen das Land und den Ocean sondern auch in ihren kleineren Theilen sehr unregelmäſsig angeordnet und vermengt sind. Deſsungeachtet ist sie als Ganzes ein Magnet, und, so viel wir bis jetzt wissen, ein Magnet von ursprünglicher Kraft. Wir können zwar bisjetzt nicht einsehen, daſs alle Theile des Erdkörpers zu dessen Magnetismus beitragen, da viele von ihnen diamagnetisch und viele auch Nichtleiter elektrischer Ströme sind,

und Stickstoff verdanke (*p.* 416) und versuche diese Bestandtheile durch Anziehung des Sauerstoffs und Abstoſsung des Stickstoffs zu trennen. Am Ende des Aufsatzes stehe ich an zu entscheiden, wohin der wahre Nullpunkt zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern zu legen sey, und verweise auf die Atmosphäre als dem magnetischen Einfluſs der Erde unterworfen. Es waren diese früheren Resultate, welche mich zu den gegenwärtigen Untersuchungen führten. — 1850 Nov. 28

Digitized by Google

aber dennoch läſst sich schwerlich sagen, daſs irgend ein gröſserer Theil nicht zur Erzeugung der Kraft mitwirke. Vielleicht ist es späterhin nothwendig gewisse Theile als bloſse Leiter, d. h. als Theile, die von anderswo entspringenden Kraftlinien bloſs durchdrungen werden, zu betrachten, allein für jetzt kann das Ganze, gemäſs der Theorie von Gauſs, als ein mächtiger zusammengesetzter Magnet angesehen werden.

2849. Die Magnetkraft dieses groſsen Systems ist mit einem gewissen Grade von Regelmäſsigkeit angeordnet. Wir haben nur Gelegenheit es zu erkennen, wie es sich in *einer* Fläche zeigt, welche von sehr unregelmäſsiger Gestalt und für uns immer dieselbe ist; denn wir können, wenn überhaupt, nur wenig zu ihr hinausgehen, und, wenn es geschieht, wie in einem Luftballon, nur in unbedeutendem Maaſse. Dieſs ist die Erdoberfläche des Landes und des Wassers unseres Planeten. Die in oder durch diese Fläche gehenden Magnetkraftlinien werden uns, ihrer Richtung und Intensität nach, durch ihre Wirkung auf kleine Magnetstäbe gegeben; allein ihren durchschnittlichen Lauf oder ihre temporäre Veränderungen *darunter* und *darüber*, im Innern der Erde und oben in der Luft, werden durch die Variationen der Kraft an der Erdoberfläche nur dunkel angezeigt, und wir erfahren dadurch nicht, ob die Ursache derselben oben oder unten liege.

2850. Die Kraftlinien gehen von der Erde in den nördlichen und südlichen Theilen mit verschiedenen Graden der Neigung aus und verbreiten sich über die aequatorialen Theile. Ihre allgemeine Anordnung ist so, wie auf einer Kugel, die im Innern einen oder zwei kurze Magnete in gehöriger Stellung gegen die Axe besitzt. Aus der Analogie einer solchen Kugel mit der Erde hat man Grund zu glauben, daſs die von letzterer ausgehenden Magnetkraftlinien wieder zu ihr zurückkehren; allein ihre geschlossenen Bahnen (*circuitous course*) mögen sich durch einen Raum von vielen Erddurchmessern oder Tausenden von Meilen erstrecken. Gay-Lussac und Biot nahmen

Digitized by Google

auf ihrer Luftfahrt, in der Höhe von etwa vier (engl.) Meilen, eine Anzeige von Abnahme in der magnetischen Intensität gewahr; allein wir werden bald sehen, daſs sie sich inmitten von Einflüssen befanden, die diesen Effect hinreichend erklären, so daſs nichts davon durch die Entfernung von der Erde, als Magnet, veranlaſst wurde. Die Zunahme der magnetischen Intensität von dem Aequator nach den Polen hin, stimmt mit der Idee von einer ungeheuren Erstreckung dieser Kraft.

2851. Diese Linien durchdringen den Raum mit einem gewissen Grade von Leichtigkeit, von welchem man sich auf gewöhnlichem Wege (*from ordinary knowledge*) oder aus früheren Versuchen und Beobachtungen eine allgemeine Idee verschaffen kann (2787). Ob es Umstände gebe, welche ihren Durchgang durch den bloſsen Raum afficiren und so ihre Beschaffenheit ändern, ob Veränderungen in der sogenannten Temperatur des Raums, wo sie vorkommen, den Durchgang des magnetischen Einflusses ändern, sind Fragen, die sich bisjetzt noch nicht beantworten lassen, obgleich die letztere nicht ganz auſser dem Bereich des Versuchs zu liegen scheint.

2852. Dieser Weltraum bildet den groſsen Abgrund in welchen die von der Erde ausgehenden und mit unseren Beobachtungswerkzeugen erkennbaren Kraftlinien sich verlaufen, wenigstens überall dort, wo die magnetische Neigung beträchtlich ist; allein zwischen der Erde und diesem Raum liegt die Atmosphäre, die, wie bedeutend wir auch ihre Höhe schätzen wollen, doch, verglichen mit der Gröſse der Erde und der Ausdehnung des von Kraftlinien durchdrungenen Weltraums, so klein ist, daſs die Annahme sie sey ein veränderliches Zwischenglied zwischen zwei ausgedehnten Systemen von standfesterer Natur nicht zu einem ernstlichen Irrthum führen kann. Auf dem Boden dieser Atmosphäre ist es, wo wir leben und alle unsere Beobachtungen und Versuche anstellen.

2853. Die Atmosphäre besteht, so weit es hier darauf ankommt, aus vier Volumen Stickstoff und einem Volume

Digitized by Google

Sauerstoff oder, dem Gewichte nach, aus viertehalb Theilen des ersten und einem Theile des letzteren. Die Substanzen sich nahezu gleichförmig durch einander gemischt, so daſs sie, rücksichtlich der Weise wie sie die Erde umhüllen, magnetisch als ein einfaches Mittel wirken; auch scheint in den magnetischen Kräften keine Tendenz zu liegen, sie von einander zu trennen [1]), obgleich sie in ihrem Verhalten zu diesen Kräften sehr von einander abweichen.

2854. Der *Stickstoff* der Luft scheint weder paramagnetisch noch diamagnetisch zu seyn; liegt er nicht auf dem Nullpunkt, so ist er doch, dieſs- oder jenseits, nur wenig von demselben entfernt (2783. 2784). So weit die bisherigen Versuche reichen hat er, dicht oder locker, dieselbe Relation zum Raum. Und was das andere Element zur Veränderung, die Temperatur, betrifft, so schloſs ich früher aus unvollkommenen Versuchen [2]), daſs er, bei Erhitzung, stärker diamagnetisch werde; allein da er damals mit dem Sauerstoff der Luft vermischt war, so habe ich für den gegenwärtigen Zweck die Versuche sorgfältiger wiederholt.

2855. Ein kleiner Schraubendraht von Platin, befestigt an den Enden von dickeren Kupferdrähten, konnten zwischen den Polen des groſsen Elektromagnets in jede Lage gebracht und dann mittelst einer Volta'schen Batterie ins Glühen versetzt werden, um Gase in seiner Umgebung dadurch zu erwärmen. Die Magnetpole endeten in Halbkugeln von weichem Eisen und 0,76 Zoll im Durchmesser; sie standen 0,2 Zoll aus einander und waren mit einer Glasglocke bedeckt, die auf einer dicken Unterlage von geschwefeltem Kautschuk ruhete. Durch diese Unterlage bis zur Wölbung der Glocke hinauf, ging eine Röhre, durch welche jedes erforderliche Gas eingeführt werden konnte. Ein sehr dünnes Glimmerblatt, etwa drei Zoll im Quadrat, war auf der oberen Seite mit einer sehr dünnen

1) *Philosoph. Magazine* 1847, *T. XXXI. p.* 416. (Ann. Bd. LXXIII, S. 279.

2) Ibid p. 418. (Ann. Bd. LXXIII. S. 281.)

Digitized by Google

Lage Wachs überzogen, und innerhalb der Glocke horizontal über den Magnetpolen befestigt. Die kleine Platinschraube war so angebracht, daſs sie sich unter dem Raum zwischen den Polen befand, etwas seitwärts der axialen Linie, so das der von ihr aufsteigende heiſse Luftstrom zu dem Glimmerblatt gelangen und durch das Schmelzen des Wachses anzeigen konnte, wo er dieses Blatt berührte.

2856. Alles ging vortrefflich, so wie *Luft* in der Glocke war. Bei Abwesenheit der Magnetkraft stieg die heiſse Luft senkrecht vom Platindraht in die Höhe und schmolz einen scharfen runden Fleck von Wachs fort, der die Stelle des Stromes anzeigte. Allein so wie der Magnet in Thätigkeit versetzt war, blieb das Wachs auf dem Glimmer unverändert, indem die heiſse Luft so weit von der axialen Linie entfernt und durch Vermischung mit der benachbarten Luft so stark abgekühlt ward, daſs sie nirgends einen Wachsfleck zu schmelzen vermochte. So wie die Magnetkraft aufgehoben wurde, stieg die heiſse Luftsäule wieder vertical in die Höhe und nahm ihre ursprüngliche Lage an.

2857. *Kohlensäuregas* wurde nun in die Glocke geleitet, bis das Doppelte von dem, was die Glocke faſste, durch die Röhre (2855) gegangen war; da es aber schwerer als die gemeine Luft ist und diese nur am Boden der Glocke hinausgeleitet werden konnte, so blieb ohne Zweifel ein Theil derselben dem Gase beigemengt. Bei Erhitzung des Platindrahts stieg die Säule des heiſsen Gases senkrecht in die Höhe, wie zuvor, allein nach Erregung der Magnetkraft, wich sie von der axialen Linie ab, ging aequatorial, und schmolz das Wachs einen halben Zoll vom früheren Orte entfernt. Befürchtend, daſs selbst diese Wirkung von der dem Gase beigemengten Luft herrühren möchte, wurden andere zwei Volume des Gases in und durch das Gefäſs geleitet. Jetzt bewirkte die Magnetkraft eine viel geringere Ablenkung der aufsteigenden Säule. Als nochmals zwei Volume Gas hindurch geleitet wurden, stieg die heiſse Säule so nahe senkrecht in die Höhe, daſs bei

Digitized by Google

voller Wirksamkeit des Magnets und bei gänzlicher Abwesenheit derselben kaum ein Unterschied ihres Ortes merklich war. Daraus schlieſse ich, daſs das diamagnetische Verhalten der Kohlensäure durch den Unterschied zwischen gewöhnlicher Temperatur und voller Rothglühhitze sehr wenig verändert wird.

2858. *Stickstoff.* — Dieses Gas, bereitet durch langsames Hinüberleiten von gemeiner Luft über brennendem Phosphor und nachheriges zwölf- bis vierzehnstündiges Waschen, wurde nun in die Glocke geleitet, um die Kohlensäure auszutreiben. Da es leichter als letztere ist, so bewirkt es diesen Dienst sehr gut, und wahrscheinlich enthielt das im Gefäſs zurückbleibende nicht mehr Sauerstoff oder Luft als es mit sich führte. Dieser Stickstoff, alsdann durch den Platindraht erhitzt, zeigte sich so indifferent gegen den Magnet als die Kohlensäure. Die erhitzte Säule erhob sich (beinahe) gegen dieselbe Stelle des Glimmers, die Magnetkraft mochte wirksam seyn oder nicht. Zwar ging sie bei Wirksamkeit des Magnets ein wenig auswärts oder aequatorial, allein ich schreibe dieſs einer geringen noch beim Stickstoff gebliebenen Menge Sauerstoff zu; und in der That wies Salpetergas auch etwas Sauerstoff in dem Stickstoff nach. Der Platindraht ward nun so stark erhitzt, als es ohne Schmelzen desselben geschehen konnte, aber dennoch war nur diese kleine Wirkung sichtbar. Daraus schlieſse ich, daſs heiſser Stickstoff nicht diamagnetischer ist als kalter, und in der That wird sein magnetisches Verhalten durch einen solchen Temperaturunterschied auch gar nicht verändert.

2859. Ich hob die Glasglocke (2855) momentan auf und setzte sie sogleich wieder nieder; und als ich jetzt den Magnet wirksam und den Platindraht heiſs machte, erfolgte eine solche Dispersion des Gases, daſs der geschmolzene Wachsfleck fast einen Zoll von seinem normalen Ort nach auſsen lag; und doch hatte nur eine sehr kleine Portion Sauerstoff oder Luft in das Gefäſs eindringen können.

2860. Der Stickstoff der Luft ist deshalb, in Bezug

Digitized by Google

auf Magnetkraft, ein sehr indifferenter Körper; er scheint weder para- noch diamagnetisch zu seyn, zeigt auch keinen Unterschied in seinem Verhalten, er mag dicht oder locker, heiſs oder kalt seyn. Früher fand ich, daſs diamagnetische Metalle bei Erhitzung ihr Verhalten zum Magnet nicht zu ändern scheinen (2397), und das scheint auch bei solchen neutralen oder diamagnetischen Körpern wie Stickstoff und Kohlensäure der Fall zu seyn.

2861. Der *Sauerstoff* der Luft weicht vom Stickgas in sehr auſserordentlichem Grade ab. Er ist höchst paramagnetisch, bei gleichem Volum so stark wie eine Lösung, die das 17fache Gewicht des Sauerstoffs an Eisenvitriol enthält (2794). Er wird bei unverändertem Volum (2780) weniger magnetisch so wie er verdünnt wird, anscheinend im einfachen Verhältniſs zur Verdünnung, wenn die Temperatur dieselbe bleibt. Steigert man seine Temperatur und läſst es dabei sich ausdehnen [1]), so verliert es einen groſsen Theil seiner paramagnetischen Kraft; und aus einem früheren Versuch mit Luft [2]) hat man hinreichenden Grund zu schlieſsen, daſs, bei Erniedrigung der Temperatur, seine paramagnetische Kraft zunehme. Wie stark seine paramagnetische Intensität zunehme bei einer Erkältung bis zur Gefriertemperatur des Quecksilbers, wie sie an den Polen der Erde herrscht, läſst sich für jetzt nicht sagen. Indeſs ist ein Gas innerhalb der Temperatur, welche seine magnetischen Kräfte afficirt, anscheinend einem starren Metalle, Eisen, Kobalt, Nickel gleich, und es mag daher beim Erkalten sehr magnetisch werden.

2862. Dieſs Verhalten bewahrt er bei der Vermischung mit Stickstoff in der Luft, so lange als seine physischen und chemischen Zustände unverändert bleiben; aber jede Operation, durch welche dieser wirksame Theil der Atmosphäre in seiner Natur verändert oder zu Verbindungen genöthigt wird, mögen diese starr, flüssig oder gasig seyn, nimmt ihm seinen paramagnetischen Charakter.

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 417. (Ann. Bd. LXXIII. S. 280.)
2) Ibid. p. 406. (Ann. Bd. LXXIII. S. 264.)

Digitized by Google

2863. Daher ist denn die Atmosphäre, in gewöhnlichem Sinn, *ein höchst* magnetisches Medium. Die auf jedem Quadratfuſs der Erdoberfläche ruhende Luft ist an Magnetkraft aequivalent mit 8160 Pfund krystallisirten Eisenvitriols (2794. 2861). Bei jeder Veränderung seiner Dichte, mag sie barometrischer oder thermometrischer Art seyn, ändert dieſs Medium seyn magnetisches Verhalten. Ueberdieſs übt jede Temperaturvariation anscheinend ihren eigenen Einfluſs in Zusatz zu dem aus, welchen eine bloſse Volumsveränderung bewirkt, und keine dieser Veränderungen kann sich zutragen, ohne nicht die Magnetkraft der Erde zu afficiren, und in deren Richtung und Intensität auf der Erdoberfläche Variationen hervorzurufen. Ob diese Veränderungen in gerader Richtung geschehen und in Quantität hinreichend seyen, um eine Ursache der Variationen der erdmagnetischen Kraft bilden zu können, ist eine Frage, zu deren Erläuterung ich zunächst einen Typus-Fall aufstellen will, um diesen dann, so gut ich kann, auf die wirklichen Fälle anzuwenden.

2864. Angenommen, es gebe zwei Luftkugeln, die von der umgebenden Atmosphäre durch einen Temperatur- oder einen Dichtigkeitsunterschied verschieden seyen. Diese Annahme ist nicht zu extravagant für eine Erläuterung, da Prout gezeigt hat, daſs in der Atmosphäre gröſsere oder kleinere Luftmassen herumschwimmen, die durch Temperatur und andere Umstände auffallend von den umgebenden Theilen verschieden sind. Um die Sache nicht zu compliciren, wollen wir für jetzt die Verdünnung nach oben auſser Acht lassen, und die eine dieser Kugeln als *kälter* oder dichter als die benachbarten Theile betrachten, und zwar in einem Theile des Raumes, welcher, ohne sie, ein Feld von überall gleicher Magnetkraft darböte, d. h. von parallelen Linien gleicher Kraftstärke durchschnitten wäre.

2865. Die Luft einer solchen Kugel wird die Fortpflanzung der Magnetkraft durch den von ihr eingenommenen Raum *erleichtern* (2807), so daſs durch diesen Raum mehr Kraftlinien gehen als durch einen gleich groſsen in

Digitized by Google

der umgebenden Atmosphäre (2809). Die Anordnung dieser Linien, bezüglich auf die magnetische Inclination an dem Ort, wird einigermaſsen der in Fig. 22 Taf. I. gleichen (2874) und folglich die Kugel polarisirt seyn als ein Leiter (2821. 2822) der paramagnetischen Klasse. Folglich wird sowohl die Stärke als die Richtung der Magnetkraft nicht allein innerhalb, sondern auch auſserhalb der Kugel variiren, und zwar an verschiedenen Orten in entgegengesetzten Richtungen, unter Einfluſs von Gesetzen, die ganz regelmäſsig und wohl bekannt sind.

2866. Betrachten wir zunächst die *Intensität*, welche zuvor gleichförmig war (2764). Sieht man die Intensität als den Ausdruck der Kraftmenge (*amoount of force*) an, die durch einen gegebenen Ort geht, dann wird, vermöge der bestimmten Kraftmenge (*amount of power*), welche zu jedem Querschnitt *aa* einer gegebenen Menge von Kraftlinien gehört (2809), eine Concentration dieser Linien, gegen die Mitte *P* hin, bewirken, daſs an dem Theile eine Erhöhung der Intensität, und am anderen Theile, wie *bb*, von dem der Einfluſs der Kraft entfernt worden ist, eine Schwächung derselben eintritt. Nimmt man also an, der normale Zustand existire bei *a*, so wird man, wenn man mit einem Intensitäts-Anzeiger von *a* nach *P* fortgeht, allmälig an Stellen *b* und *c* gelangen, wo die Intensität geringer als die normale ist, und diese Stellen können entweder innerhalb oder auſserhalb der Kugel *P* liegen, einzeln oder beide (je nach ihrer Temperatur zur umgebenden Luft, nach ihrer Gröſse und anderen Umständen). Weiterhin wird man Stellen von normaler Intensität antreffen, und noch weiter, bei *P*, Stellen von gröſserer Intensität als der umgebende Raum auswärts; an der entgegengesetzten Seite von *P* würde man entsprechende Variationen in umgekehrter Ordnung antreffen.

2867. Geht man mit dem Intensitäts-Anzeiger aufwärts, in Richtung der magnetischen Neigung, von *e* aus, wo die Intensität als normal betrachtet seyn mag, so kommt man an die Orte *g*, *f*, etc. wo die Intensität zunimmt, bis man *P*

Digitized by Google

erreicht hat, von wo ab dieselbe wieder schwächer wird bis man zu *p* gelangt, wo man wieder die normale antrifft. Bleibt man beim Hinaufgehen nicht auf der *Linie der magnetischen Neigung*, dann wird man natürlich Variationen wie die auf der Linie *aP* durchkreuzen, die an Ausdehnung zunehmen bis die Richtung zusammenfällt mit der gegen die Inclination rechtwinklichen Linie *aP*, auf der sie ein Maximum sind. In unseren Breiten, wo die Neigung fast 70° ist, und unter dem Aequator, wo sie 0° ist, sich durch eine solche kalte Luftkugel erheben, sind also zwei sehr verschiedene Dinge, und die nothwendigen Resultate eines solchen Unterschiedes sollen späterhin nachgewiesen werden.

2868. Allein eine Magnetnadel oder ein Magnetstab ist kein solcher Intensitäts-Anzeiger d. h. er lehrt uns diese Unterschiede entweder nicht oder in umgekehrter Weise kennen. Um dieſs zu verstehen, muſs man erwägen, daſs eine Magnetnadel schwingt, indem sie, vermöge ihrer magnetischen *Beschaffenheit und Polarität*, eine gewisse Menge von Kraftlinien auf sich *häuft*, welche sonst den umgebenden Raum durchdrungen haben würden; und angenommen, sie erleide durch Temperaturwechsel keine Veränderung, wird sie in Verhältniſs zu den Intensitätsvariationen dieser Linien afficirt werden, sobald alles übrige gleich bleibt. Allein da sie unter den natürlichen Umständen umgeben ist von der Atmosphäre, einem Medium, welches sowohl durch Wärme als durch Verdünnung Variationen in seiner magnetischen Beschaffenheit unterliegt, und durch diese Variationen die Intensität und Quantität der Kraft afficirt, so werden ihre Anzeigen ebenfalls variiren. Wäre sie z. B. in einer groſsen Kugel von Sauerstoff, so wird sie durch ihre Schwingungen oder sonst wie eine gewisse Intensität anzeigen. Wird der Sauerstoff verdünnt, so erwarte ich, wird sie eine höhere Intensität anzeigen, obwohl dieselbe Menge von Kraftlinien (*lines of force and magnetic energy*) durch den Sauerstoff gehen als zuvor. Verdichtet man den Sauerstoff, so wird er ein besserer

Leiter, und ich vermuthe, daſs er dann *mehr*, und der Magnet *weniger* Kraft fortführt (*convey onwards*), denn die Kraft würde theilweis von dem unveränderten Magnet auf den verbesserten Leiter der Umgebung übertragen werden.

2869. Mit Sauerstoff können diese Versuche schwerlich anders als mittelst höchst empfindlicher Apparate angestellt werden, aber ähnliche Effecte lassen sich an anderen analogen Fällen experimentell nachweisen. Sey z. B. eine kleine Flintglasröhre von 1 Zoll Länge und 0,5 Zoll im Durchmesser mit gesättigter Eisenvitriollösung gefüllt und mittelst Kokonfäden (2279) horizontal zwischen den Polen eines Elektromagnets aufgehängt, in einem Gefäſse, welches Luft, Wasser oder ein anderes Medium (2406) enthalten mag. In Luft wird sie sich mit einer gewissen Kraft axial stellen und sich wie eine Magnetnadel unter dem Einfluſs der Erde verhalten. In Wasser, obwohl es ein schlechterer magnetischer Leiter als die Luft ist, wird sie sich mit gröſserer Kraft einstellen; und gerade weil das Wasser ein sehr schlechter Leiter ist, zeigt der flüssige Magnet eine gröſsere Kraft an. Erhöht man nun das Leitvermögen des umgebenden Mediums durch Zusatz von Eisenvitriol, so verringert sich die Intensitäts-Anzeige der Röhre; sie zeigt erst die frühere Intensität in der Luft an und dann eine geringere, denn sie kehrt mit immer geringerer Kraft in ihre axiale Lage zurück, wenn sie aus derselben abgelenkt wird. So zeigt denn die zum Messen der Intensität oder Magnetkraft (denn für jetzt verstehe ich unter beiden Worten dasselbe) angewandte Magnetnadel gewissermaſsen die auf sie selbst geworfene Kraft an und zwar, wie ich schlieſse, genau, sobald der magnetische Zustand des umgebenden Mediums unverändert bleibt; allein wenn sie in ein anderes oder veränderndes Medium gebracht wird, so erwarte ich, daſs sie nicht genau die Intensität in demselben, d. h. nicht direct die relativ durch dasselbe gehende Kraftmenge, messen werde. In Luft wird der Unterschied unter verschiedenen Umständen sehr klein seyn; allein gerade dieser Unterschied kommt beim

Digitized by Google

atmosphärischen Magnetismus in Betracht, und es ist sehr wichtig zu wissen, ob, wenn der Magnet eine erhöhte Intensität anzeigt, diese gänzlich von einer wirklichen Verstärkung der Kraft an ihrer Quelle im Erdkörper herrühre oder zum Theil von einer Veränderung der uns bisher unbekannten Beschaffenheit des den Magnet umgebenden Raums.

2870. Unterscheiden wir an dem, was oft unterschiedlos Magnetkraft oder Intensität genannt ist, die *Quantität* von der *Spannung* (*tension*), so werden wir die Sache leichter begreifen. Für jetzt zeigt eine Magnetnadel uns beide als Magnetkraft, keinen Unterschied unter ihnen machend; allein die Effecte derselben auf die Nadel sind oft entgegengesetzten Sinns. Bei ihrer Zu- oder Abnahme afficiren sich freilich die Nadeln gleich; allein es wird angenommen, daſs die Spannung bei gleichbleibender Quantität und die Quantität bei gleichbleibender Spannung sich ändern kann, und dann werden *die* Angaben der Nadel unsicher. Wächst die Spannung in einer gegebenen Region durch Verminderung des Leitvermögens, so wird die Nadel eine *erhöhte Kraft* anzeigen; wächst sie durch Zunahme der Magnetkraft in der Erde, vermöge eines inneren Vorgangs, so wird die Nadel ebenfalls eine *erhöhte Kraft* anzeigen, und diesen Effect nicht von dem früheren unterscheiden. Vermehrt sich die Quantität in einer Gegend durch Verbesserung des Leitvermögens, so wird die Nadel keine Zunahme anzeigen; im Gegentheil wird sie eine *Abnahme* der Kraft anzeigen, weil die Spannung verringert ist, oder, wenn die Quantität durch Verringerung des Leitvermögens abgenommen hat, wird sie eine *Zunahme* der Kraft anzeigen. Die Kraft könnte selbst in solchem Verhältnisse an Quantität verlieren und an Spannung gewinnen, oder umgekehrt, daſs die Nadel durchaus keine Veränderung anzeigte.

2871. Wenn meine Ansicht richtig ist, so ist der Magnet, wie er bisjetzt angewandt wird, kein vollkommener Messer der erdmagnetischen Kraft, denn diese kann un-

Digitized by Google

verändert bleiben, wenn der Magnet durch den Einfluſs der verschiedenen Zustände des Tages und der Nacht, des Sommers und des Winters, eine Veränderung angiebt. Wie *weit* diese Unsicherheiten in ihren Angaben den Werth der über die horizontalen und verticalen Componenten der erdmagnetischen Kraft gemachten Beobachtungen, als Anzeigen desjenigen, was man von ihnen zu lernen erwartete, afficiren, weiſs ich nicht; allein da diese Angaben zwei sehr verschiedene Dinge einschlieſsen, nämlich Veränderung des Leitvermögens und Veränderung der Kraft an ihrer Quelle, von denen die eine ihren Sitz hauptsächlich in der Atmosphäre und die andere in der Erde hat, so scheint es mir von groſsen Folgen für die Entwicklung der Theorie des Erdmagnetismus zu seyn, daſs man, wo möglich, eine Methode habe, um diese beiden Elemente von einander zu unterscheiden.

2872. Wieder zu dem Beispiel der Kugel (Fig. 22 Taf. I.) (2874) zurückgehend, so scheint mir, daſs ein Magnet, als Intensitäts-Anzeiger gebraucht, bei *P* eher eine kleinere als gröſsere Intensität anzeigen werde, und zwar, weil das Leitvermögen der ganzen Kugel zugenommen hat. Dasselbe wird er, obgleich die scheinbare Abnahme der Intensität hier wahrscheinlich gröſser als anderswo ist, an anderen Orten thun, besonders an denen rechts und links, und selbst bei *b* und *b*, wo die durchgelassene Kraft, statt mehr als bei *P* zu betragen, in der That weniger beträgt als in dem normalen oder gleichmäſsigen Zustand des Magnetfeldes. Eine diamagnetische Luftkugel, d. h. eine wärmere oder verdünntere als der umgebende Raum (2877), ungeachtet sie, als schlechter Leiter, weniger Kraft fortführt, würde bewirken, daſs der Magnet sich mit gröſserer Kraft einstellte und somit eine erhöhte Intensität anzeigte, er mag sich nun innerhalb oder aequatorial auſserhalb der Kugel befinden.

2873. Wenn es wahr ist, daſs die Veränderungen des Mediums (2869) auf den Magnet einwirken, und diese Veränderungen zu einem merklichen Grade in den Gasen ein-

Digitized by Google

einzutreten vermögen, so könnte ein Magnet in Sauerstoff und in Stickstoff, bei gleicher Dichtigkeit beider Gase, eine verschiedene Zahl von Schwingungen in derselben Zeit machen, denn diese Gase sind in ihrem magnetischen Verhalten sehr verschieden. Im Stickstoff würde er die gröſsere Anzahl machen. Vielleicht wäre eine feine Torsionswaage eine empfindlichere Anzeigerinn davon; allein wahrscheinlich müſste der Raum um die Nadel sehr groſs seyn, und es wäre auch nöthig sich zu versichern, daſs die beiden Media der schwingenden Nadel einen gleichen mechanischen Widerstand entgegensetzten.

2874. Auf die *Richtung* der Kraft könnte die Kugel (2864) schief gegen die Horizontal- und Vertical-Ebene einwirken und somit die Declination und die Inclination abändern, einzeln oder zusammen. In einer centralen Linie, parallel der allgemeinen Inclination im umgebenden Raume (Fig. 22 Taf. I.), würde sich die Richtung nicht ändern. Längs einer anderen, auf dieser Linie winkelrecht d. h. aequatorial liegenden Linie *aP* würde sich auch die Richtung nicht ändern, wohl aber in allen übrigen. So z. B., wenn auf der Linie *ir* die Nadel von *i* nach *k* käme, würde ihr unteres Ende einwärts, gegen die centrale Neigungslinie *p* geführt werden; dieser Effect würde, nachdem er, vielleicht bei *z*, sein Maximum erreicht hätte, allmälig wieder bei *r* zur normalen Neigung zurückgekehrt seyn. Aehnliche Erscheinungen würden jenseits der axialen Linie, *pe* vorkommen; und wenn man annähme, die Nadel würde in einem Kreise um die axiale Linie *pe* fortgeführt, so beschriebe sie einen Kegel, dessen Spitze nach unten läge.

2875. Betrachtet man andrerseits die Veränderungen der Inclination unterhalb der Aequatorial-Ebene *aP*, so findet man sie dort von gleichem Betrage aber umgekehrter Richtung, so daſs die Magnetnadel ihr oberes Ende einwärts oder gegen die axiale Linie *pe* kehrte und wenn man sie um die axiale Linie herumführte einen Kegel beschriebe, dessen Scheitel oben läge.

2876. So würde also in solcher Luftkugel die Neigung

in jedem Azimut variiren, und zwar an den unteren und oberen Theilen dieser Kugel und des benachbarten Raums in entgegengesetzten Richtungen.

2877. Nehmen wir als Vorbild eine andere Luftkugel (2864), eine von höherer Temperatur als die umgebende Atmosphäre, so haben wir einen diamagnetischen Leiter (Fig. 24 Taf. I.), welcher die Fähigkeit besitzt die Intensität und Richtung der Kraftlinien in umgekehrter Weise wie die frühere Kugel (Fig. 23) abzuändern. Was, in Folge ihres Einflusses auf die Richtung der Kraftlinien, die Wirkung dieser Kugeln auf eine in ihren Bereich kommende Magnetnadel betrifft, so kann sie zum Theil repräsentirt werden durch einen Magnet, der für die kalte Kugel gleiche, und für die warme Kugel entgegengesetzte Lage mit der Nadel hat. Allein da die Kraftlinien des combinirten Systems der Erde und eines solchen Magnets in ihrer Anordnung sehr verschieden sind von den Kraftlinien der Erde, wie sie durch die, bloſse Leitungspolarität (2820) besitzenden, kalten und warmen Luftmassen afficirt werden, so würde es zuviel gesagt seyn, daſs sie einander entsprächen oder ihre Effecte auf Intensität und Richtung dieselben wären für gleichen Abstand vom Mittelpunkt der Luftkugel und des stellvertretenden Magnets.

(Schluſs im nächsten Heft.)

VI. *Bemerkungen über einige physische Eigenschaften der Körper; von J. A. Groshans.*

Ein Kubikcentimeter flüssigen Wassers bei 100° C. nimmt im Dampfzustande bei 100° C. und $0^{m},76$ einen Raum von 1624 Kubikcentimetern ein. Die Dichtigkeit des flüssigen Wassers verhält sich also zu der des Wasserdampfs wie 1624 : 1.

Nennt man *Expansion* das Verhältniſs der Dichtigkeiten eines selben Körpers im flüssigen und dampfförmigen Zu-

stande, beim Siedpunkt und bei der Spannung $0^m,76$, so kann man dieselbe berechnen durch die Formel:

$$\text{Exp.} = \frac{qD}{d} \times \frac{273,2 + E}{273,2},$$

wo Exp. die Expansion, D die Dichtigkeit des Körpers im flüssigen Zustande beim Siedpunkt, d die Dichte des Dampfs bei 0° und $0^m,76$, gegen die vom Sauerstoff = 1, E der Siedpunkt, q das Verhältniſs der Dichtigkeit des flüssigen Wassers bei 0° C. und des Sauerstoffs bei 0° C. und $0^m,76$, ein Verhältniſs, das, da ein Liter Sauerstoff, nach Regnault, $1^{grm},4298$ wiegt, gleich ist $\frac{1000}{1,4298} = 699,4$.

Ich habe *Exp.* für einige Körper berechnet und die Resultate in folgenden zwei Tafeln zusammengestellt.

Tabelle I.

Körper.	Zusammensetzung.	Atomgewichte	d.	D.	E.	Exp.
Chloraethyl	$C_4H_{10}Cl$	806,25	2,0156	0,9058	11°,0	327,0
Bromaethyl	$C_4H_{10}Br$	1362,50	3,4062	1,3912	40 ,7	328,2
Jodaethyl	$C_4H_{10}J$	1921,25	4,8781	1,815	70 ,0	327,9
Brommethyl	C_2H_6Br	1187,50	2,9687	1,6331	13 ,0	403,0
Jodmethyl	C_2H_6J	1776,25	4,4406	2,078	43 ,8	379,7
Chloraelayl	$C_4H_8Cl_2$	1237,50	3,0937	1,1553	85 ,0	342,4
Bromaelayl	$C_4H_8Br_2$	2350	5,8750	1,923	132 ,6	340,0
Chlorphosphor	PCl_3	1731,25	4,3281	1,466	78 ,3	304,8
Bromphosphor	PBr_3	3400	8,5 ?	2,493	175 ,3	336,7
Chlorsilicium	$SiCl_3$	1597,50	5,3250	1,394	59 ,0	222,6
Bromsilicium	$SiBr_3$	3266,25	10,8875 ?	2,414	153 ,4	242,1

Tafel II.

Körper.	Zusammensetzung.	Atomgewichte.	Siedpunkte.	Dampfdichte bei 0° C. u. 0m,76.	Dampfdichte bei *E* u. 0m,76.	Spec. Gewicht der Flüssigkeiten bei 0° C.	Spec. Gewicht der Flüssigkeiten bei *E*.	Aequivalentvolume der Flüssigk.	Expansion.
Aether	$C_4 H_{10} O$	462,5	35,5	2,31	2,0466	0,7358	0,6952	665,3	237,6
Bromaethyl	$C_4 H_{10} Br$	1362,5	40,7	3,40	2,9646	1,4733	1,3912	979,3	328,2
Jodmethyl	$C_2 H_6 J$	1776,25	43,8	4,44	3,8270	2,1992	2,0780	854,8	374,7
Chlorsilicium	$Si Cl_3$	1597,50	59,0	5,32	4,4073	1,5237	1,394	1146	222,6
Brom	Br	1000	63,0	5	4,0631	3,1872	2,969	336,8	511,6
Chloroform	$C_2 H_2 Cl_3$	1493,75	63,5	—	—	1,5252	1,4072	1061	—
Holzgeist	$C_2 H_8 O_2$	400	66,3	1	0,8047	0,8270	0,7544	530,2	655,7
Jodaethyl	$C_4 H_{10} J$	1951,25	70,0	4,87	3,8832	1,9755	1,815	1075	327,9
Essigäther	$C_8 H_{16} O_4$	1100	74,1	2,75	2,1634	0,9069	0,8170	1346	264,9
Dopp. gechlortes Aethylchlorür	$C_4 H_6 Cl_3$	1668,75	74,9	—	—	1,3465	1,2176	1370	—
Kohlenstoffsuperchlorid	$C_2 Cl_4$	1925	78,1	4,81	3,7443	1,6298	1,4758	1304	375,8
Chlorphosphor	$P Cl_3$	1731,25	78,3	4,32	3,3639	1,6162	1,466	1181	304,8
Alkohol	$C_4 H_{12} O_2$	575	78,3	1,43	1,1179	0,8151	0,7453	771,5	468,2
Kohlenchlorid	$C_4 Cl_4$	2075	123,9	5,18	3,5690	1,6490	—	—	—
Fuselalkohol	$C_{10} H_{24} O_2$	1100	131,8	—	—	0,8271	0,7172	1534	—
Bromaelayl	$C_4 H_8 Br_2$	2350	132,6	5,87	3,9554	2,1629[1])	1,923	1222	340,0
Methylsulfocyanur	$C_2 H_6 Cy S_2$	912,5	132,8	—	—	1,0879	—	—	—
Chlorarsen	$As Cl_3$	2268,25	133,8	5,67	3,8065	2,2050	1,914	1185	351,7
Dreimal gechlorte holländische Flüssigkeit	$C_4 H_2 Cl_5$	2531,25	153,8	6,32	4,0490	1,6627[2])	—	—	—
Schwefligsaures Aethyloxyd	$C_4 H_{10} O . SO_2$	862,5	160,3	—	—	1,1063	0,9271	927,1	—

1) Bei 20°. 2) Sehr nahe = $\frac{3}{2}$ × 1,1063.

Digitized by Google

Die erste Tafel enthält fünf Gruppen von Körpern, und in jeder Gruppe finden sich zwei oder drei Körper von *analoger Zusammensetzung*; so nenne ich vorläufig *Körper, in welchen n Atome Chlor ersetzt sind durch n Atome Brom oder Jod.*

Die zweite Tafel entält sieben Gruppen von Körpern, und in jeder Gruppe finden sich einige Körper, deren Siedpunkte gleich oder wenig verschieden sind, und welche ich deshalb *isopeptische* Körper nenne.

Was die Zusammensetzung dieser beiden Tafeln betrifft, so bemerke ich:

1. Daſs alle Angaben über die Siedpunkte und specifischen Gewichte, ohne Ausnahme, von den Versuchen des Hrn. Pierre entlehnt sind.

2. Daſs die Dichtigkeiten der Dämpfe bei 0° und $0^m,76$ aus den allgemein angenommenen Atomgewichten berechnet sind, wenn der Versuch überdieſs wenig verschiedene Zahlen gegeben hatte.

3. Daſs diese Dichtigkeiten für zwei in der ersten Tafel enthaltene Körper, Bromphosphor und Bromsilicium, hypothetisch sind, da für diese Körper der Versuch noch nicht gemacht ist. Ich habe vorausgesetzt, daſs die Dampfdichte dieser Bromverbindungen auf gleiche Weise wie die durch den Versuch schon bestimmte Dampfdichte der analogen Chlorverbindungen berechnet werden könnte.

Die erste Tafel zeigt, daſs die Expansion eine Tendenz hat, bei allen Körpern einer selben Gruppe gleich zu seyn. Bei der Gruppe der Aethyle und Aelayle ist diese Gleichheit fast vollkommen. Die Expansionen der zweiten, vierten und fünften Gruppe verhalten sich wie 1,06, 1,10 und 1,09. Fernere Versuche werden diese Verhältnisse vielleicht der Einheit nähern.

Die Dichtigkeiten der drei Aethyle (im flüssigen Zustand und bei den Siedpunkten) verhalten sich wie 2, 3 und 4. Diese Verhältnisse können auf den ersten Blick zufällig erscheinen; indeſs trifft man sie in derselben Ord-

Digitized by Google

nung bei einigen anderen Gruppen an. Ich habe diese Verhältnisse in folgender Tafel zusammengestellt:

Körper.	Dampfdichte bei *E* und $0^m,76$ $O=1$.	Verhält-nisse.	Dichte der Flüssigkeiten bei *E*.	Verhält-nisse.
Chloraethyl	1,9376	2	0,9058	2
Bromaethyl	2,9646	3,06	1,3912	3,07
Jodaethyl	3,8832	4,00	1,815	4,00
Brommethyl	2,8339	3	1,6331	3
Jodmethyl	3,8270	4,05	2,078	3,81
Chloraelayl	2,3596	2	1,1553	2
Bromaelayl	3,9554	3,34	1,923	3,33
Chlorphosphor	3,3639	2	1,466	2
Bromphosphor	5,1778	3,08	2,193	3,10
Chlorsilicium	4,4073	2	1,394	2
Bromsilicium	6,9942	3,18	2,414	3,46

Für die Aelayle ist dieſs Verhältniſs $= 3 : 5$.

Eine analoge Zusammensetzung bei einer Gruppe von Körpern scheint demnach die Gleichheit der Expansion oder das Daseyn gewisser einfacher Verhältnisse zwischen den Dichtigkeiten der Dämpfe und der Flüssigkeiten bei den Siedpunkten nach sich zu ziehen oder wenigstens zu begünstigen.

Die zweite Tafel zeigt, daſs die Gleichheit (oder Fast-Gleichheit) der Siedpunkte zweier oder mehrer Körper die Gleicheit der Dichtigkeiten von Dämpfen und Flüssigkeiten (bei allen *gleichen* Temperaturen) oder die Existenz von einfachen Verhältnissen zwischen diesen Dichtigkeiten begünstigt. Zuweilen sind auch einfache Verhältnisse zwischen den Atomgewichten vorhanden. So z. B. verhalten sich die Atomgewichte des Chlorphosphors und Alkohols wie 1:3,01; dasselbe Verhältniſs existirt zwischen den Dichtigkeiten der Dämpfe, während die Dichtigkeiten der Flüssigkeiten im Verhältniſs 2:1 stehen. Die Expansionen verhalten sich offenbar wie 2:3 [1]).

1) Die specifischen Gewichte sind, nach Andrews, 0,209 und 0,617, welche sich verhalten wie 1:2,90. Die latenten Wärmen beider Dämpfe

Bildet man Gruppen von Körpern, deren Dichtigkeiten, im flüssigen Zustande, für gleich erachtet werden können, so bemerkt man fast immer, daſs die Körper einer und derselben Gruppe auch noch andere Eigenschaften gemein haben.

So z. B. ist das specifische Gewicht des Bromaethyls 1,3912, das des Chloroforms 1,4072. Die Expansion des ersteren Körpers ist 328,2, die des letzteren berechnet sich zu 324,9, wenn man annimmt, die Dampfdichte bei 0° C. sey $\frac{14,93}{4}$ = 3,73.. (wo 14,93 das Atomgewicht). Hier ist also Gleichheit zwischen Dichtigkeit und Expansion.

Die sechste Gruppe der zweiten Tafel enthält zwei Körper, Bromaelayl und Chlorarsen, deren specifische Gewichte, Siedpunkte und Expansionen gleich sind.

Die dritte Gruppe dieser Tafel enthält zwei Körper, deren Atomgewichte in demselben Verhältnisse (2:3,03) stehen wie die Dichtigkeiten der Flüssigkeiten. Die Siedpunkte sind gleich und es läſst sich vermuthen, daſs die Expansionen es ebenfalls seyen.

Die vier Eigenschaften, nämlich:

1) Gleichheit der Expansionen,
2) Gleichheit der Siedpunkte,
3) Gleichheit der specifischen Gewichte als Flüssigkeiten oder Daseyn einfacher Verhältnisse zwischen diesen specifischen Gewichten,
4) Analogie der Zusammensetzung,

scheinen also von einander abzuhängen in der Weise, daſs eine von ihnen das Vorkommen einer oder mehrer der anderen begünstigt.

Es giebt indeſs Körper, die nur eine einzige dieser Eigenschaften besitzen z. B.

		Atomgew.	d.	D.	E.	Exp.
Zinnchlorid	$SnCl_2$	1612,5	8,06	115,4	1,965	242,5
Aether	$C_4H_{10}O$	462,5	2,31	35,5	0,6952	237,6.

sind, nach demselben Beobachter, 51,41 und 202,4, deren Verhältniſs 1:3,89 ist.

Digitized by Google

Diese beiden Körper haben eine gleiche Expansion, deſsungeachtet sind sie nicht mehr isopeptisch. Ihre Zusammensetzung bietet keine Analogie dar und das Verhältniſs der specifischen Gewichte ist 2,82 : 1. Man müſste in dem Versuch einen groſsen Fehler voraussetzen, damit dieſs Verhältniſs = 3 : 1 seyn könnte.

Klar ist, daſs sowohl die gasigen als flüssigen Volume der Körper, deren Expansionen gleich sind, bei allen entsprechenden Temperaturen in gleichem Verhältniſs bleiben. Wenn also die Volume der Dämpfe zweier Körper von gleicher Expansion und den Siedpunkten E und e gleich sind bei 0° C. und $0^{m},76$, so werden dieselben bei den Siedpunkten gleich $(1+Ec)$ und $(1+ec)$ seyn, wo c der Ausdehnungscoëfficient der Dämpfe ist. Bei zwei Temperaturen T und t werden diese Volume seyn $(1+Tc)$ und $(1+tc)$, und so wird man die Proportion bilden können:

$$(1+Ec):(1+ec)=(1+Tc):(1+tc) \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha).$$

Nimmt man für einen dieser Körper das Wasser und ändert e in 100° C. um, so kann die Formel dazu dienen für einen Körper, dessen Spannung bei irgend einer Temperatur beobachtet ist, den Siedpunkt zu finden oder im Allgemeinen entsprechende Temperaturen zu bestimmen. Diese Formel, welche ich in diesen Annalen Bd. 78 S. 112, mitgetheilt habe, ist also, in der allgemeinen Form (α), nothwendig auf alle Körper von gleicher Expansion anwendbar; allein ich habe auch in diesen Annalen Bd. 79 S. 290 gesagt, daſs sie noch anwendbar sey auf Wasser, Alkohol und Aether, dessen Expansionen sind: 1624, 468 und 237. Wahrscheinlich wird sie also für alle Körper gültig seyn.

Das Quecksilber hat eine doppelt so groſse Expansion wie das Wasser; dieſs geht aus folgenden Angaben hervor

	Atomgew.	*d.*	*D.*	*E.*		Exp.
Quecksilber	1250	6,28	350	12,758	(Regn.)	3256
Wasser	112,5	0,5625	100	0,9588	(Kopp)	1624.

Nimmt man den Siedpunkt des Quecksilbers zu 348,8 an [1]), so verhalten sich die Gasvolume beider Körper wie 5 : 3; die flüssigen Volume stehen im Verhältniſs 5 : 6. Ueberhaupt bemerkt man beim Studium der physischen Eigenschaften der Körper viele, mehr oder weniger einfache Verhältnisse zwischen den Zahlen, welche das Maaſs dieser Eigenschaften geben. Da alle diese Zahlen mit gewissen Beobachtungsfehlern behaftet sind, welche sie vergröſsern oder verringern können, so kann man sich irren, wenn man zufällige Uebereinstimmungen für einfache Verhältnisse nimmt. Es giebt also *wahrhafte* und *scheinbare* Verhältnisse. Die ersteren unterscheiden sich indeſs bald von den letzteren dadurch, daſs sie häufiger und in einer gewissen Ordnung vorkommen und mit anderen gemeinschaftlichen Eigenschaften der Körper in Analogie stehen.

Rotterdam, den 23. September 1850.

VII. *Versuche über die thermo-elektrische Kraft des krystallisirten Wismuths und Antimons; von J. Svanberg.*

(Aus einer Note an Hrn. Regnault in d. *Compt. rend. T. XXXI. p.* 250.)

Seit einiger Zeit hat die Beobachtung gewisser Thatsachen, deren Anführung hier überflüssig seyn würde, mich zu der Vermuthung geführt, daſs die thermo-elektrische Kraft der Metalle wohl von einer Verschiedenheit ihres elektrischen Leitvermögens abhängen möge. Ueberdieſs wurde ich zu glauben veranlaſst, daſs dieses Leitvermögen verschieden seyn müsse mit der Richtung in krystallisirtem Wismuth und Antimon, weil die Krystallform dieser Metalle, nach den neueren Untersuchungen der HH. Faraday und G.

1) Durch Druckfehler steht in diesen Annalen (Bd. 80, S. 297) 384 statt 348.

Rose, nicht dem regelmäſsigen Systeme angehört. Das bewog mich zu untersuchen, ob die thermo-elektrische Kraft dieser beiden Metalle verschieden sey nach der Richtung. Diese Vermuthung hat sich vollkommen bestätigt durch die Versuche, welche ich beschreiben will.

In groſsen Wismuth- oder Antimonmassen ist das krystallinische Gefüge niemals überall dasselbe; aber es hält nicht schwer, darin homogene Theile zu finden. Man kann Stäbchen heraus sägen, die gegen die Krystallisationsebenen verschiedentlich geneigt sind.

Unter den Spaltungsebenen dieser beiden Metalle im krystallisirten Zustande giebt es eine, welche sich, wie Hr. Faraday zuerst bemerkt hat, von den übrigen durch gröſseren Glanz unterscheidet. Diese Ebene ist winkelrecht gegen die Hauptaxe der Krystallisation. Unter den übrigen Spaltungsebenen giebt es eine, die der eben genannten an Glanz wenig nachsteht. Ich will die Stäbe, deren Länge mit dem Durchschnitt dieser beiden Ebenen zusammenfällt, *A* nennen, und die Stäbe, deren Länge winkelrecht ist auf der Spaltung mit dem gröſsten Glanz, mit *B* bezeichnen.

Antimon und Wismuth haben nun das gemein, daſs die Stäbe *A* positiver, und die Stäbe *B* negativer in der thermo-elektrischen Reihe sind, als jeder andere aus demselben Metall geschnittene Stab. Die thermo-elektrische Kraft zwischen dem Antimon *A* und dem Antimon *B*, oder zwischen dem Wismuth *A* und dem Wismuth *B* ist ziemlich bedeutend. Nimmt man einen zwischen *A* und *B* liegenden Stab d. h. einen solchen, dessen Länge anders gegen die Spaltungsebene geneigt ist, oder der kein regelmäſsiges Krystallgefüge hat, so findet er sich negativ gegen *A* und positiv gegen *B*.

Wie man sieht fällt die Längenrichtung *B* zusammen mit der Magnekrystallaxe des Hrn. Faraday, was für alle angewandten Stäbe untersucht und bestätigt worden ist. Diese Axe nahm beim Wismuth die axiale, und beim Antimon die aequatoriale Lage an, was mit den Beobachtungen des Hrn. Plücker übereinstimmt.

Digitized by Google

Dieſe Verſchiedenheit der thermo-elektriſchen Kraft des Wismuths und Antimons ſcheint den Schlüſſel zu liefern zur Erklärung der Ströme, welche die HH. Sturgeon und Matteucci in Ketten aus einem einzigen dieſer Metalle beobachtet haben. Dieſelben waren bisher unerklärlich.

Was die Richtung der thermo-elektriſchen Ströme zwiſchen heiſsem und kaltem Wismuth oder heiſsem und kaltem Antimon betrifft, ſo ſind verſchiedene Experimentatoren zu verſchiedenen Reſultaten gelangt. Vorsſelman de Heer, der Letzte, der ſich damit beſchäftigte, ſah den Strom bisweilen vom kalten zum warmen, bisweilen vom warmen zum kalten Metall gehen. Er glaubte, nach ſeinen Beobachtungen, daſs die Richtung des Stroms von mehr oder weniger groſsem Unterſchiede in den Temperaturen beider Stäbe abhänge. Beſonders beim Antimon, ſagt er, habe er oft eine ſolche Umkehrung beobachtet.

Sollen dergleichen Verſuche irgend Werth haben, iſt es durchaus nothwendig, daſs die Stäbe, mit denen man operirt, einen gleichen Platz in der thermo-elektriſchen Reihe einnehmen. So z. B. muſs man *A* mit *A*, und *B* mit *B* vergleichen, aber nicht *A* mit *B*. Man muſs alſo zuvor unterſucht haben, ob beide Stäbe durchaus homogen ſeyen. Sehr merkwürdig iſt, daſs *A* ſich zu *A* nicht ſo verhält wie *B* zu *B*.

Mein Experimentirverfahren iſt folgendes. Die beiden Stäbe waren befeſtigt an kupfernen Handhaben, welche durch gleichfalls kupferne Drähte mit einem ſehr empfindlichen Galvanometer verknüpft waren. Von den Berührungspunkten mit dem Kupfer an, waren die Stäbe, faſt bis zu ihrem freien Ende, mit Schnee umhüllt; auf dieſe Weiſe konnte kein Strom entſtehen, wenn man die Enden in Contact ſetzte und ihnen irgend eine höhere Temperatur gab. Dieſs iſt das Mittel, ſich zu überzeugen, daſs die Stäbe thermo-elektriſch homogen ſind. Wenn man aber, bevor man ſie in Berührung ſetzt, das Ende bloſs eines der Stäbe auch nur wenig erhitzt oder erkältet, ſo entſteht

ein Strom, dessen Richtung das Galvanometer angiebt. Sind die beiden Stäbe von Wismuth *A* oder von Antimon *A*, so geht der Strom vom kalten zum warmen Metall; operirt man aber mit Stäben *B*, so ist die Richtung umgekehrt d. h. der Strom geht vom heiſsen zum kalten Metall.

Dieser Unterschied scheint mir sehr merkwürdig, allein ich habe ihn durch vielfältige Versuche mit verschiedenen Stäben bestätigt. Bei meinem Verfahren habe ich durch Steigerung des Temperatur-Unterschiedes zwischen den beiden Enden niemals eine Umkehrung des Stromes beobachten können.

Für kleine Temperatur-Unterschiede hat Vorsselman de Heer beim Antimon gefunden, daſs der Strom vom heiſsen Metall zum kalten geht. Die umgekehrte Richtung, welche ich beim Antimon *A* gefunden, läſst sich nicht erklären durch eine kleine Temperatur-Erhöhung, welche sich etwa vom heiſsen Ende dem Vereinigungspunkt mit dem Kupfer mitgetheilt hätte; denn es ist leicht zu ersehen, daſs eine solche Erhitzung gerade den umgekehrten Effect bewirkt haben würde. Allein es ist sehr möglich, daſs Vorsselman de Heer, durch eine leicht zu entschuldigende Unachtsamkeit, mit thermo-elektrisch heterogenen Stäben experimentirte, weil die Beziehung der thermo-elektrischen Kraft und der Richtung des Stroms zu den Krystallisationsebenen, damals noch nicht bekannt war.

Beim Wismuth *A* habe ich, wie die Physiker vor mir, gefunden, daſs der Strom vom heiſsen Metall zum kalten geht. Die umgekehrte Richtung, die ich beim Wismuth *B* beobachtet habe, kann also nicht erklärt werden durch eine kleine Temperatur-Erhöhung, die sich vom erhitzten Ende dem Verbindungspunkt mit dem Kupfer mitgetheilt hätte, weil daraus gerade der entgegengesetzte Effect entstanden seyn würde.

Digitized by Google

VIII. *Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in Eisen; von HH. Wertheim und Breguet.*

(*Compt. rend. T. XXXI. p.* 293.)

Jedermann kennt die Versuche, durch welche Hr. Biot die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in Guſseisen direct bestimmt hat. Bei Benutzung einer Länge von 951 Metern fand er die Geschwindigkeit im Guſseisen = 10,5 gegen die der Luft zur Einheit angenommen; wogegen die theoretische Geschwindigkeit = 12,2 ist, wenn man für das Guſseisen einen mittleren Elasticitäts-Coëfficienten von 12000 annimmt.

Es schien uns nützlich diese Frage, bei Benutzung groſser Längen von eisernen Telegraphendrähten wieder aufzunehmen. Schon bei unseren ersten Versuchen, die im Laufe dieses Sommers (1850) unternommen wurden, hatten wir gesehen, daſs selbst schwache Töne sich in groſse Fernen fortpflanzen; allein es bedurfte vieler Versuche, um die zweckmäſsigste Telegraphenlinie aufzufinden, die beste Entfernung zweier Beobachter und die beste Erschütterungsweise auszumitteln; so wie alle auf die Resultate etwa einwirkenden Fehlerquellen zu entfernen. Unsere definitiven Versuche wurden auf der Versailler Linie (rechtes Seine-Ufer) angestellt. Auf dieser Linie sind die Drähte stark gespannt und von nicht hohen Pfosten getragen, was den doppelten Vortheil darbietet, daſs man ihnen das Ohr nähern, und sich fast gegen den Wind schützen kann; auch wird man nicht durch das Rauschen gestört, welches der Wind beständig auf anderen Linien hervorbringt.

Als Signal ist ein Schlag mit einem Hammer auf einen der spannenden Pfosten allen anderen Erschütterungsweisen vorzuziehen, denn er bewirkt einen instantanen Stoſs, welcher sich lediglich durch den Draht fortpflanzt, ohne sich in die Luft zu verbreiten, was weder bei einem Pistolenschuſs, noch bei den Tönen des *Tam-tams* oder der Stimm-

gabel der Fall iſt, wie ſtark letztere auch mit den Drähten verbunden ſeyn mögen.

Wir haben nur eine Entfernung von 4050 Meter benutzt, obwohl die Stöſse, nach ihrer Stärke an beiden Enden dieſer Strecke zu urtheilen, ſich hätten noch durch weit gröſsere Abſtände fortpflanzen können, wenn nicht die Tunnels ein unüberſteigliches Hinderniſs dargeboten hätten. Allein der Ton war niemals jenſeits des erſten Tunnels hörbar, ſelbſt wenn wir einen dicken Eiſendraht anwandten, der nirgends die Mauer direct berührte.

Mit Berückſichtigung dreier Correctionen wegen der Krümmung des Drahtes, der ungleichen Höhe der Pfoſten und der Holzdicke, welche der Stoſs zu durchlaufen genöthigt war, betrug die wahre Drahtlänge zwiſchen den beiden Enden 4067,2 Meter.

An beiden Enden der Linie ſtehend, hatten wir jeder einen Gehülfen bei uns. Jeder von uns hielt in der Hand einen Punktir-Chronometer (*chronomètre à pointage*), der von Einem unter uns verfertigt war und Zehntel-Sekunden mit Sicherheit zu ſchätzen erlaubte; unſere Gehülfen hatten Chronometer von ſtetem Gange, die wohl regulirt waren und fünf Schläge in zwei Sekunden machten.

Geſetzt die Verſuche begännen auf der Station Asnières. Der erſte Gehülfe gab zu einer voraus beſtimmten Sekunde einen Hammerſchlag. Der neben ihm ſtehende Beobachter kehrte ihm den Rücken zu, ſo daſs er den Schlag nur in dem Moment punktirte, wo er ihn wirklich hörte. Der andere Beobachter, der ſich am Eingange des Tunnels zu Puteaux befand, markirte den Augenblick der Ankunft und lieſs eine halbe Minute verſtreichen, ehe er den Schlag zurückſandte, deſſen Ankunft vom erſten Beobachter punktirt ward.

Auf dieſe Weiſe verdoppelte man die Länge, befreite ſich vom individuellen Irrthum und eliminirte hierauf den aus einem Gang-Unterſchied beider Chronometer entſpringenden Fehler dadurch, daſs man das Mittel nahm aus zwei Verſuchen, bei deren einem der Stoſs von Anières ausge-

Digitized by Google

gangen war, bei dem anderen aber ebenso von Puteaux und zurück. Auf diese Weise haben wir zwei oder drei Doppelläufe benutzt.

Diese Versuche gaben im Mittel eine Geschwindigkeit von 3485 Meter in der Sekunde, während 2 Meter desselben Drahts, auf dem Sonometer ausgespannt, einen Ton von 2317 Schwingungen machten, woraus sich die Geschwindigkeit zu *4634* Meter ergiebt.

Die lineare Geschwindigkeit im Eisen ist also nach directem Versuch kleiner nicht allein als die theoretische Geschwindigkeit, sondern auch als die aus dem Chladni'schen Verfahren hergeleitete. Der Unterschied liegt in gleichem Sinn und ist gröſser noch als der, welcher aus Hrn Biot's Versuch mit Guſseisen hervorgeht. Wir begnügen uns für jetzt dieſs Resultat anzugeben, behalten uns aber vor, darauf zurückzukommen, wenn wir gröſsere Längen oder andere Metalle als Eisen werden benutzt haben können.

IX. *Aeltere Beobachtungen über den Gang des Pendels, gemacht von den Mitgliedern der Accademia del Cimento.*

Hr. Antinori, Director des Museums für Physik und Naturgeschichte in Florenz, ist durch Hrn. Foucault's sinnreichen Beweis von der Axendrehung der Erde (Ann. Bd. 82, S. 458) veranlaſst worden, nach zu sehen, ob unter den zahlreichen Versuchen, welche die Mitglieder der Accademia del Cimento mit dem Pendel anstellten, einige wären, die mit dem des Hrn. Foucault's Analogie hätten. Er glaubt wirklich dergleichen aufgefunden zu haben und theilt die Documente darüber in den *Compt. rend. T. XXXII, p.* 635 mit. Es sind ihrer drei:

1. Aus den ungedruckten Handschriften Viviani's folgende Note: » *Osservammo che tutti i Penduli da un sol*

filo deviano dal primo verticale e sempre per il medesimo verso, civè secondo le linee AB, CD, EF etc. [1]) *da destra verso sinistra delle parti anteriori.*«

2. Aus den *Saggi di Naturali Esperienze etc.*: »*Ma perchè l'ordinario pendolo a un sol filo in quella sua libertà di vagare (qualunque ne sia la cagione) insensibilmente va traviando dalla prima sua gita, e verso'l fine, secondo ch'ei s'avvicina alla quiete, il suo movimento non è piu per un arco verticale, ma par fatto per una spirale ovata in cui più non posson distinguersi nè noverarsi le vibrazioni, quindi è che, solamente a fine di fargli tener fin all'ultimo l'istesso cammino, sie pensò di appender la palla a un fil doppio.*«

3. Aus Targioni's *Notizie degli Aggrandimenti delle Scienze fisiche in Toscana* (*T. II. pt. II. p.* 669): — »*A dì* 28. *Nov.* 1661. *Ricevuta la punta d'un d'ondolo attacato ad un filo solo, quando comincia a inlanguidirsi il suo moto, che lasciato di vibrare và in spire, sopra polvere di marmo vi disegna il suo viaggio, che è una spirale ovata, che sempre và restringendosi verso il centro.*«

1) Einer beigefügten Figur zufolge, sind diese Linien die successiven Lagen eines Kreisdurchmessers, der um den Mittelpunkt schraubenrechts gedreht würde. P.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 2.

I. *Ueber den Humit und den Olivin des Monte Somma von Arcangelo Scacchi in Neapel*[1].

Die krystallographische Eigenthümlichkeit des Humites hatte seit langer Zeit meine Aufmerksamkeit erregt, und die hier mitgetheilten Thatsachen verbreiten weniger über seine mineralogischen Verhältnisse neues Licht als über die Lehre von der Molecularphysik der Körper (*fisica costituzione moleculare dei corpi*).

Aus später darzulegenden Gründen geht hervor, daſs die Humitkrystalle zum System des rectangulären Prismas gehören. Sie bieten die merkwürdige Thatsache dar, daſs sie drei Typen von Formen zeigen und daſs jeder dieser Typen durch bestimmte Flächen ausgezeichnet ist, die fast alle von denen der andern Typen verschieden sind. Zu dieser Thatsache kommt ein Verhältniſs, das sie viel wichtiger macht, als sie anfangs erscheinen könnte. Es lassen sich nämlich die wenn auch sehr zahlreichen Flächen der zu einem und demselben Typus gehörenden Krystalle durch sehr einfache Gesetze aus einem bestimmten Längenverhältniſs der Axen der Grundform ableiten. Dieſs ist aber nicht der Fall bei den Flächen der Krystalle von verschiedenem Typus, die sich von derselben Grundform nur durch mehr oder weniger verwickelte Gesetze ableiten lassen. Anfangs glaubte ich in den Humitkrystallen drei verschiedene Mineralspecies vor mir zu haben; allein später habe ich diese Ansicht verlassen oder vielmehr ich glaube, daſs alle Humitkrystalle zu derselben Mineralspecies gerechnet werden

1) Aus der Handschrift des Verfassers übersetzt von Hrn. Dr. Roth. P.

können, in dem Sinne wie dieser Begriff allgemein von den Mineralogen gebraucht wird.

Vor der Betrachtung der charakteristischen Verschiedenheiten, welche die Typen der Humitkrystalle darbieten, wird es gut sein, einen Blick auf die Zusammenstellung der goniometrischen Messungen und auf Taf. II. Fig. 1, 2 u. 3 zu werfen, welche verticale Projectionen der vollständigen Krystalle jedes Typus darstellen.

Digitized by Google

Goniometrische Messungen der Humitkrystalle.

	Gemessene Winkel.	Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, daſs das Axenverhältniſs der Krystalle der verschiedenen Typen verschieden ist.	Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, daſs das Axenverhältniſs der Krystalle der verschiedenen Typen dasselbe ist.	Von Phillips gemessene Winkel.	Von Marignac gemessene Winkel.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniſs der Krystalle von verschiedenem Typus verschieden ist.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniſs der Krystalle von verschiedenem Typus dasselbe ist.
Fig. 1	A gegen B = 90° 0′	90° 0′	90° 0′	—	—	—	—
Fig. 2. 3	A » C = 90 0′	90 0′	90 0′	—	—	—	—
Fig. 3	A » e = 143 15′	143 10′,0	143 10′,6	143° 20′	143° 25′	von e . $a, 7b, \infty c$	$a, \frac{7}{9}b, \infty c$
Fig. 1	A » e = 140 47′	140 48′,6	140 48′,6	140 56′	—	» e . $a, 5b, \infty c$	$a, \frac{5}{7}b, \infty c$
Fig. 2	A » e = 135 58′	135 53′,0	135 51′,4	—	136 1′	» e . $a, 3b, \infty c$	$a, \frac{3}{5}b, \infty c$
Fig. 1	A » e^2 = 134 30′	134 27′,5	134 27′,5	—	134 40′	» e^2 . $a, 4b, \infty c$	$a, \frac{4}{7}b, \infty c$
Fig. 3	A » e^2 = 133 44′	133 38′,5	133 39′,1	133 36′	133 45′	» e^2 . $a, 5b, \infty c$	$a, \frac{5}{9}b, \infty c$
Fig. 1	A » e^3 = 126 17′	126 21′,0	126 21′,0	—	126 20′	» e^3 . $a, 3b, \infty c$	$a, \frac{3}{7}b, \infty c$
Fig. 3	A » e^3 = 119 50′	119 46′,7	119 47′,3	120 0′	119 50′	» e^3 . $a, 3b, \infty c$	$a, \frac{3}{9}b, \infty c$
Fig. 1	A » e^4 = 116 13′	116 8′,0	116 8′,0	115 15′?	116 11′	» e^4 . $a, 2b, \infty c$	$a, \frac{2}{7}b, \infty c$
Fig. 2	* A » e^2 = 108 58′,3	108 57′,3	108 58′,3	—	109 0′	» e^2 . $a, b, \infty c$	$a, \frac{1}{5}b, \infty c$
Fig. 1	* A » e^5 = 103 47′	103 47′,0	103 47′,0	103 40′	103 45′	» e^5 . $a, b, \infty c$	$a, \frac{1}{7}b, \infty c$
Fig. 3	* A » e^4 = 100 47′,9	100 47′,9	100 48′,1	100 40′	101 0′	» e^4 . $a, b, \infty c$	$a, \frac{1}{9}b, \infty c$
Fig. 1	A » i = 138 41′	138 37′,8	138 37′,8	—	139 0′	» i . $a, \infty b, 5c$	$a, \infty b, \frac{5}{7}c$
Fig. 3	A » i = 136 35′	136 38′,2	136 39′,8	135 50′	136 40′	» i . $a, \infty b, 6c$	$a, \infty b, \frac{6}{5}c$
Fig. 3	* A » i^2 = 125 13′	125 13′,0	125 14′,5	125 59′	—	» i^2 . $a, \infty b, 4c$	$a, \infty b, \frac{4}{9}c$
Fig. 1	* A » i^2 = 124 16′	124 16′,0	124 16′,0	—	124 20′	» i^2 . $a, \infty b, 3c$	$a, \infty b, \frac{3}{7}c$
Fig. 2	* A » i = 122 29′,5	122 29′,5	122 27′,1	—	122 32′	» i . $a, \infty b, 2c$	$a, \infty b, \frac{2}{5}c$
Fig. 3	A » i^3 = 109 30′	109 26′,5	109 27′,4	—	—	» i^3 . $a, \infty b, 2c$	$a, \infty b, \frac{2}{9}c$

Gemessene Winkel.			Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, daſs das Axenverhältniſs der Krystalle der verschiedenen Typen verschieden ist.	Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, daſs das Axenverhältniſs der Krystalle der verschiedenen Typen dasselbe ist.	Von Phillips gemessene Winkel.	Von Marignac gemessene Winkel.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniſs der Krystalle von verschiedenem Typus verschieden ist.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniſs der Krystalle von verschiedenem Typus dasselbe ist.
Fig. 1	A gegen i^3	= 102° 50′	102° 47′,7	102° 47′,7	—	102° 45′	von i^3 . $a, \infty b, c$	$a, \infty b, \frac{1}{4}c$
Fig. 1	B » o	= 144 11′	144 14′,3	144 14′,3	—	—	» o . $\infty a, 2b, 3c$	$\infty a, 2b, 3c$
Fig. 1	B » o^2	= 114 48′	114 50′,3	114 50′,3	115° 10′	—	» o^2 . $\infty a, 2b, c$	$\infty a, 2b, c$
Fig. 1	A » o, o^2	= 90 0′	90 0′	90 0′	90 0′	—	—	—
Fig. 2	A » m	= 115 0′	114 56′,4	114 54′,9	—	115 0′	» m . $a, \frac{5}{3}b, \frac{5}{2}c$	$a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{2}c$
	C » m	=	121 59′,0	122 0′,3	—	—	—	
Fig. 3	A » m	= 114 45′	114 54′,1	114 54′,9	—	—	» m . $a, 3b, \frac{9}{2}c$	
	C » m	=	122 1′,5	122 0′,3	—	—	—	—
Fig. 2	A » m^2	= 95 20′	95 18′,8	95 18′,5	—	—	» m^2 . $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{2}c$	$a, \frac{1}{15}b, \frac{1}{10}c$
	C » m^2	= 125 40′	125 34′,0	125 35′,2	—	—	—	—
Fig. 3	A » m^2	= 92 50′	92 57′,2	92 57′,3	—	—	» m^2 . $a, \frac{1}{5}b, \frac{1}{2}c$	$a, \frac{1}{27}b, \frac{1}{18}c$
	C » m^2	= 125 48′	125 43′,4	125 42′,2	—	—	—	—
Fig. 3	A » n	= 132 7′	132 11′,8	132 13′,0	—	—	» n . $a, 7b, 7c$	$a, \frac{7}{9}b, \frac{7}{6}c$
	C » n	=	122 56′,5	122 55′,2	—	—	—	—
Fig. 2	A » n	= 125 5′	125 1′,5	124 59′,3	—	125 9′	» n . $a, 3b, 3c$	$a, \frac{3}{9}b, \frac{3}{6}c$
	C » n	=	126 55′,5	126 57′,3	—	—	—	—
Fig. 3	A » n^2	= 123 1′	122 55′,7	122 56′,8	—	—	» n^2 . $a, 5b, 5c$	$a, \frac{5}{9}b, \frac{5}{6}c$
	C » n^2	=	128 1′,8	128 0′,5	—	—	—	—
Fig. 1	A » n	=	116 33′,8	116 33′,8	—	116 30′	» n . $a, 3b, 3c$	$a, \frac{3}{9}b, \frac{3}{6}c$
	B » n	=	127 25′,1	127 25′,1	—	—	—	—
Fig. 3	A » n^2	= 111 18′	111 14′,1	111 14′,9	—	—	» n^2 . $a, 3b, 3c$	$a, \frac{3}{9}b, \frac{3}{6}c$
	C » n^2	=	133 10′,3	133 9′,1	—	—	—	—

Digitized by Google

		Gemessene Winkel.	Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, dafs das Axenverhältnifs der Krystalle der verschiedenen Typen verschieden ist.	Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, dafs das Axenverhältnifs der Krystalle der verschiedenen Typen dasselbe ist.	Von Phillips gemessene Winkel.	Von Marignac gemessene Winkel.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältnifs der Krystalle von verschiedenem Typus verschieden ist.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältnifs der Krystalle von verschiedenem Typus dasselbe ist.
Fig. 2	*A*	gegen $n^2 = 103^0\ 12'$	$103^0\ 9',0$	$103^0\ 8',0$	---	$103^0\ 10'$	von n^2 . a, b, c	$a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{3}c$
	A	» $n^2 = 135\ 41$	$135\ 35',6$	$135\ 36',8$	—	—	—	—
Fig. 1	*A*	» $n^2 = 99\ 28$	$99\ 27',7$	$99\ 27',7$	—	$99\ 30'$	» n^2 . a, b, c	$a, \frac{1}{7}b, \frac{1}{7}c$
	B	» $n^2 = 132\ 10$	$132\ 4',5$	$132\ 4',5$	—	—	—	—
Fig. 3	*A*	» $n^4 = 97\ 25$	$97\ 22',8$	$97\ 23',1$	—	—	» n^4 . a, b, c	$a, \frac{1}{9}b, \frac{1}{9}c$
	C	» $n^4 =$	$136\ 42',7$	$136\ 41',8$	—	—	—	—
Fig. 3	*A*	» $r = 140\ 20$	$140\ 13',3$	$140\ 14',8$	—	$140\ 30'$	» r . $a, 15b, \frac{15}{2}c$	$a, \frac{15}{8}b, \frac{15}{16}c$
	C	» $r =$	$125\ 29',9$	$125\ 28',5$	—	—	—	—
Fig. 3	*A*	» $r^2 = 136\ 8$	$136\ 9',1$	$136\ 10',6$	$136^0\ 16'$	$136\ 6'$	» r^2 . $a, 13b, \frac{13}{2}c$	$a, \frac{13}{8}b, \frac{13}{16}c$
	C	» $r^2 =$	$128\ 57',4$	$128\ 56',0$	—	—	—	—
Fig. 1	*A*	» $r = 135\ 48$	$135\ 51',6$	$135\ 51',6$	—	—	» r . $a, 10b, 5c$	$a, \frac{10}{7}b, \frac{5}{7}c$
	B	» $r =$	$107\ 0',5$	$107\ 0',5$	—	—	—	—
Fig. 2	*A*	» $r = 135\ 18$	$135\ 19',3$	$135\ 16',8$	$134\ 2'$?	$135\ 16'$	» r . $a, 7b, \frac{7}{2}c$	$a, \frac{7}{5}b, \frac{7}{10}c$
	C	» $r =$	$129\ 38',6$	$129\ 41',0$	—	—	—	—
Fig. 3	*A*	» $r^3 = 131\ 25$	$131\ 22',6$	$131\ 24',0$	$131\ 20'$	$131\ 30'$	» r^3 . $a, 11b, \frac{11}{2}c$	$a, \frac{11}{8}b, \frac{11}{16}c$
	C	» $r^6 = 133\ 1$	$132\ 55',5$	$132\ 54',0$	—	—	—	—
Fig. 1	*A*	» $r^2 = 129\ 32$	$129\ 29',8$	$129\ 29',8$	$129\ 46'$	$129\ 35'$	» r^2 . $a, 8b, 4c$	$a, \frac{8}{7}b, \frac{4}{7}c$
	B	» $r^2 = 109\ 1$	$108\ 54',9$	$108\ 54',9$	—	—	—	—
Fig. 2	*A*	» $r^2 = 125\ 52$	$125\ 50',6$	$125\ 48',1$	$125\ 30'$	$125\ 40'$	» r^2 . $a, 5b, \frac{5}{2}c$	$a, b, \frac{1}{2}c$
	C	» $r^2 = 137\ 25$	$137\ 21',3$	$137\ 23',5$	—	—	—	
Fig. 3	*A*	» $r^4 = 125\ 50$	$125\ 46',9$	$125\ 48',1$	$125\ 30'$	$125\ 52'$	» r^4 . $a, 9b, \frac{9}{2}c$	
	C	» $r^4 = 137\ 28$	$137\ 25',0$	$137\ 23',5$	—	—	—	

Gemessene Winkel.				Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, daſs das Axenverhältniſs der Krystalle der verschiedenen Typen verschieden ist.	Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, daſs das Axenverhältniſs der Krystalle der verschiedenen Typen daſselbe ist.	Von Phillips gemessene Winkel.	Von Marignac gemessene Winkel.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniſs der Krystalle von verschiedenem Typus verschieden ist.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniſs der Krystalle von verschiedenem Typus daſselbe ist.
Fig. 1	A	gegen	r^2 = 121° 44′	121° 43′,5	121° 43′,5	121° 45′	121° 48′	von r^2 . $\underline{a}, 6b, 3c$	$a, \tfrac{6}{7}\underline{b}, \tfrac{3}{7}c$
	B	»	r^2 = 111 0	110 56′,2	110 56′,2	—	—		
Fig. 3	A	»	r^5 = 119 20	119 16′,4	119 17′,6	119 24′	119 30′	» r^5 . $\underline{a}, 7b, \tfrac{7}{2}c$	$a, \tfrac{7}{2}\underline{b}, \tfrac{7}{16}c$
	C	»	r^5 =	142 20′,5	142 19′,5	—	—		
Fig. 2	A	»	r^3 = 113 28	113 25′,9	113 24′,2	—	113 30′	» r^3 . $\underline{a}, 3b, \tfrac{3}{2}c$	$a, \tfrac{3}{5}\underline{b}, \tfrac{3}{10}c$
	C	»	r^3 = 146 30	146 21′,8	146 23′,5	—	—		
Fig. 1	A	»	r^4 = 112 23	112 24′,0	112 24′,0	112 45′	112 27′	» r^4 . $\underline{a}, 4b, 2c$	$a, \tfrac{4}{7}\underline{b}, \tfrac{2}{7}c$
	B	»	r^4 = 112 54	112 51′,3	112 51′,3	—	—		
Fig. 3	A	»	r^6 = 111 53	111 49′,3	111 50′,2	—	112 30′	» r^6 . $\underline{a}, 5b, \tfrac{5}{2}c$	$a, \tfrac{5}{9}\underline{b}, \tfrac{5}{18}c$
	C	»	r^6 =	147 24′,5	147 23′,5	—	—		
Fig. 3	A	»	r^7 = 103 37	103 30′,5	103 31′,2	103 42′	103 30′	» r^7 . $\underline{a}, 3b, \tfrac{3}{2}c$	$a, \tfrac{3}{5}\underline{b}, \tfrac{3}{15}c$
	C	»	r^7 =	151 56′,3	151 55′,6	—	—		
Fig. 1	A	»	r^8 = 101 41	101 38′,7	101 38′,7	101 50′	101 40′	» r^8 . $\underline{a}, 2b, c$	$a, \tfrac{2}{7}\underline{b}, \tfrac{1}{7}c$
	B	»	r^8 = 114 20	114 18′,0	114 18′,0	—	—		
Fig. 2	A	»	r^4 = 98 18	98 13′,3	98 12′,5	—	98 4′	» r^4 . $\underline{a}, b, \tfrac{1}{2}c$	$a, \tfrac{1}{8}\underline{b}, \tfrac{1}{16}c$
	C	»	r^4 =	153 54′,4	153 55′,4	—	—		
Fig. 3	A	»	r^9 = 94 28	94 34′,7	94 34′,9	—	—	» r^9 . $\underline{a}, b, \tfrac{1}{2}c$	$a, \tfrac{1}{7}\underline{b}, \tfrac{1}{14}c$
	C	»	r^9 = 154 48	154 46′,7	154 46′,1	—	—		

Digitized by Google

Bei der Berechnung der Winkel der zweiten Spalte habe ich die Krystalle jedes Typus unabhängig von denen der andern Typen betrachtet, so als ob sie zu drei verschiedenen Mineralspecies gehörten. Das Axenverhältniſs der Grundform läſst sich dann so ausdrücken:

für den ersten Typus (Fig. 1. Taf. II.)

$$a : b : c = 1 : 0{,}245315 : 0{,}227101,$$

für den zweiten Typus (Fig. 2. Taf. II.)

$$a : b : c = 1 : 0{,}343769 : 0{,}318435,$$

für den dritten Typus (Fig. 3. Taf. II.)

$$a : b : c = 1 : 0{,}190730 : 0{,}176465.$$

Die der Rechnung zu Grunde gelegten Winkel sind für jeden Typus auf der Tabelle mit einem Sternchen bezeichnet. In der sechsten Spalte befinden sich die Bezeichnungen für die Flächen unter Voraussetzung des angegebenen Unterschiedes. Daher ist folgendes in Bezug auf den Inhalt der ersten, zweiten und sechsten Spalte in Betracht zu ziehen.

1. Bei den Krystallen des ersten Typus finden sich auſser den Flächen *A* und *B* des rectangulären Prismas drei Arten rhombischer Prismen, von denen die Flächen der beiden horizontalen Prismen mit *e* und *i*, und die der verticalen Prismen mit *o* bezeichnet sind; auſserdem sind noch zwei Arten von Rhombenoctaëdern vorhanden, die mit *n* und *r* bezeichnet sind.

2. Bei den Krystallen des zweiten und dritten Typus finden sich auſser den Flächen *A* und *C* des rectangulären Prismas zwei Arten rhombischer Prismen, beide horizontal, deren Flächen mit *e* und *i* bezeichnet sind; und auſserdem drei Arten Rhombenoctaëder, die mit *m*, *n* und *r* bezeichnet sind.

3. An den Krystallen des ersten Typus finden wir bei den Flächen *e* für die Axe *b* die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5; bei den Flächen *i* für die Axe *c* die Zahlen 1, 3, 5; bei den Flächen *r* für die Axe *c* die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 und das Doppelte dieser Zahlen für die Axe *b*.

4. Bei den Krystallen des zweiten und dritten Typus ergiebt sich für die Axen *bac* bei denselben Arten von

Flächen im Vergleich mit denen des ersten Typus ein umgekehrtes Verhältniſs; nämlich *e* und *r*, die im ersten Typus natürlich fortschreitende Zahlenreihen ergeben, haben im zweiten und dritten Typus dieselben, aber in unpaaren Zahlen fortschreitenden Coëfficienten; die Flächen *i*, die im ersten Typus die Coëfficienten für *c* in unpaaren Zahlen hatten, zeigen im zweiten und dritten Typus die natürlich fortschreitende Zahlenreihe.

Betrachtet man das Axenverhältniſs der Grundgestalt jedes Typus, so sieht man leicht:

1) während die Verhältnisse der Axen *a* zu den Axen *b* und *c* merklich verschieden sind, sind dagegen die Verhältnisse der Axen *b* zu *c* bis auf einen höchst geringen Unterschied dieselben.

2) Die Axe *b* des ersten Typus steht zu der Axe *b* des zweiten Typus in einem ungefähren Verhältniſs von 5 zu 7 und zu der Axe *b* des dritten Typus wie 9 zu 7; und die Axe *b* des zweiten Typus verhält sich zur Axe *b* des dritten Typus wie 9 zu 5. Dasselbe Verhältniſs besteht zwischen den Axen *c* von verschiedenen Typen. Bezeichnet daher *R* den Coëfficienten der Axen *b* und *c* des ersten Typus, *S* den der Axen *b* und *c* des zweiten Typus, *J* den der Axen *b* und *c* des dritten Typus, so ist $7\,R = 5\,S = 9\,J$.

Daraus folgt, daſs die drei Typen der Humitkrystalle mit leichten Aenderungen der goniometrischen Messungen auf dieselbe Grundgestalt zurückgeführt werden können, deren Axen sich verhalten würden wie 1 : 1,7172 : 1,5897. Legt man dieses Axenverhältniſs bei der Berechnung der Kantenwinkel zu Grunde, so ergeben sich die Werthe der dritten Spalte; vergleicht man diese mit den correspondirenden Winkeln der zweiten Spalte, so bleibt die gröſste Differenz unter 3 Minuten und diese kann sehr wohl als Messungsfehler angesehen werden.

In der siebenten Spalte finden sich die Bezeichnungen aller Flächen unter der Voraussetzung, daſs alle Humitkrystalle derselben Grundgestalt angehören. In dieser Spalte,

Digitized by Google

wie leicht vorauszusehen war, herrscht nicht mehr die Einfachheit der Zahlenverhältnisse der sechsten Spalte.

Sieht man alle Humitkrystalle als einfache Varietäten derselben Mineralspecies an, so ergeben sich bemerkenswerther Weise drei Rhombenoctaëder der Reihe r, deren Flächen sich so sehr nähern, daſs ihre Neigungen zur Basis A des Grundprismas um weniger als Einen Grad abweichen. Es sind dieſs r^2 des dritten Typus, r des ersten und r des zweiten Typus; r^2 unter 136° 11′, r des ersten Typus unter 135° 52′, r des zweiten Typus unter 135° 17′ zu A geneigt.

Die Neigungen von A zu e^2 im ersten Typus und zu e^2 im dritten Typus weichen gleichfalls um weniger als Einen Grad von einander ab; ebenso die von A zu i^2 im dritten Typus.

Marignac giebt bei den Krystallen des ersten Typus einer Fläche der Reihe e eine Neigung von 123° 30′ zu A. Ich habe diese Fläche nie gefunden, sie daher in der Uebersicht nicht aufgeführt, weil sie mir nicht wahrscheinlich ist. Betrachtet man die Krystalle eines jeden Typus für sich, so würde ihr die Bezeichnung $a:\frac{8}{3}b:\infty c$ zukommen. Da ich aber vorher bemerkte, daſs in der Flächenreihe e des ersten Typus die Coëfficienten von b die natürliche Zahlenreihe befolgen, so würde das Verhältniſs $\frac{8}{3}$ im Widerspruch stehen mit der Einfachheit der Verhältnisse, die ich bei der Untersuchung von mehr als hundert Krystallen immer wieder gefunden habe. Auſserdem muſs ich bemerken, daſs die Humitkrystalle, wie ich später zeigen werde, oft in der Art Zwillinge bilden, daſs die Basen A des einen Krystalls mit den Basen A des andern Krystalls einen Winkel von ungefähr 120° von einer, und von 60° von der entgegengesetzten Seite machen (120° 25′ und 59° 34′,6) und bei derartigen Zwillingen ist die Basis A des einen Krystalls zu e^4 des andern Krystalls um 123° 26′,6 geneigt, — ein Winkel, der dem vom Marignac gefundenen sehr nahe kommt.

Philips hat auſserdem noch einige Flächen angege-

Digitized by Google

ben, die ich nie gefunden habe und die irgend einem Typus angepaſst, dieselbe Unregelmäſsigkeit in der Bezeichnung ergeben. Aber die offenbaren und zahlreichen Druckfehler in den goniometrischen Messungen der vierten Ausgabe von Phillips[1]) Buche (der einzigen mir zu Gebote stehenden), machen alle Discussion darüber zu einer müſsigen.

Ich muſs ferner noch anführen, daſs ich das Rhombenoctaëder *n* (Fig. 1) des ersten Typus nie gefunden habe, da es aber zu den wahrscheinlichen Flächen dieses Typus gehört, habe ich es auf Marignac's Autorität hin angeführt. Auch das Rhombenoctaëder *n* des dritten Typus (Fig. 3.) habe ich unter den existirenden Flächen angegeben, weil ich es unter meinen 1843 gemachten Messungen verzeichnet finde, obwohl ich später den Krystall, an dem diese Messungen angestellt wurden, nicht wieder gefunden noch auch dies Rhombenoctaëder an andern Krystallen wieder gesehen habe. Endlich habe ich an einem Krystall des zweiten Typus eine Fläche gefunden, wahrscheinlich zur Reihe *i* gehörig, die zur Basis *A* unter 141° 45′ geneigt ist; eine Messung, die sehr nahe $a:\infty b:4c$ giebt. Aber bei der Unvollständigkeit des Krystalls habe ich mir keine Gewiſsheit verschaffen können, zu welcher Reihe sie gehöre.

Ich stelle die Humitkrystalle zum System des rectangulären Prismas, allein es giebt bei vielen Krystallen einige auffallende Charaktere, die bei oberflächlicher Betrachtung zu der Ansicht verleiten könnten, die Krystalle gehörten zum System des monoklinischen Prismas. An den Krystallen des ersten Typus erscheinen alle Flächen mit der Regelmäſsigkeit, die man von Krystallen mit rechtwinkligen Axen verlangt, und sie entsprechen genau der Fig. 1. Bei den Krystallen des zweiten und dritten Typus zeigen sich die Flächen der rhombischen Prismen *e* und *i* noch wie im System des rectangulären Prismas; aber von den Rhomben-

1) *An elementary introduction to mineralogy. Fourth edition by Robert Allan. London* 1837, *p.* 89.

octaëdern der zahlreichen Reihe *r* fehlt *fast immer* die Hälfte der Flächen, und zwar mit einer wunderbaren Symmetrie. Nun findet sich 1) daſs von jeder Art der Rhombenoctaëder *r oben* nur das eine Paar der Flächen, die sich bei den Axen *b* verbinden und unten nur das ihr parallele Flächenpaar vorkommt, 2) daſs von denselben Arten der Rhombenoctaëder *r*, die jedem der beiden letzten Typen eigenthümlich sind, einige links, andere rechts sich finden, und daſs constant rechts die Rhombenoctaëder mit denen links alterniren. Diese *gewöhnliche* Anordnung der Flächen aus der Reihe *r* der Humitkrystalle des zweiten und dritten Typus ist genau in Fig. 4 u. 5. Taf. II. dargestellt.

Die gewöhnliche Lage der Flächen von den andern Rhombenoctaëdern *m* und *n* ist schwerer zu bestimmen, weil einige derselben oft gänzlich fehlen. Nichts desto weniger findet sich meistentheils folgendes:

1) Die Rhombenoctaëder n^2 des zweiten und n^3 des dritten Typus sind vollständig da;

2) Das Rhombenoctaëder *n* des zweiten Typus findet sich halb auf derselben Seite, wo r^2 liegt, und die Rhombenoctaëder n^2 und n^4 des dritten Typus sind ebenfalls halb vorhanden, *alle* auf der Seite von r^7.

3) Die Rhombenoctaëder *m* und m^2 des zweiten Typus existiren halb, beide auf der r^2 entgegengesetzten Seite; im Gegensatz hierzu finden sich die halben Rhombenoctaëder *m* und m^2 des dritten Typus beide auf derselben Seite wie r^7.

Alles dies begreift sich leichter, wenn man einen Blick auf Fig. 4. und 5. wirft.

Bei den erwähnten Verhältnissen der drei Arten Rhombenoctaëder an den Krystallen des zweiten und dritten Typus könnte man sehr leicht zu der Meinung kommen, daſs jene Krystalle zum monoklinoëdrischen System gehören und daſs daher die Neigung der Basis *A* zu den Flächen *e* auf der linken Seite etwas verschieden sei von der Neigung zu den correspondirenden Flächen auf der rechten Seite.

Um darüber ins Klare zu kommen, wählte ich daher

den besten Krystall des dritten Typus, an welchem auf beiden Seiten die Basis A und die Fläche e^4 sehr glänzend vorhanden waren. Ich traf alle Vorsichtsmaſsregeln, um die Messung höchst genau zu machen und bediente mich eines Reflexionsgoniometers, dessen Kreis noch 10 Secunden angab. Die Neigung von A zu e^4 auf der rechten Seite (Fig. 5.) fand ich = 100° 47′ 35′ und auf der andern Seite = 100° 49′ 0″. Dieſs ist das mittlere Resultat von vier Messungen für jeden Fall, deren gröſste Differenzen für den ersten Fall 50″ und für den zweiten 1′ 20″ waren.

Wegen dieser höchst geringen Abweichung, die mir vielmehr zufällig erscheint, zog ich es vor, die Humitkrystalle aller Typen auf das System des rectangulären Prismas zu beziehen. Dieſs konnte ich um so mehr, als, wenn auch die Rhombenoctaëderflächen des zweiten und dritten Typus in der Regel nur halb vorhanden sind — als Repräsentanten eines eigenthümlichen Gesetzes von Hemiëdrie — dennoch einige Ausnahmen vorkommen, welche der aus jener Hemiëdrie etwa zu ziehenden Folgerung, daſs die Krystalle zum monoklinoëdrischen System gehören, offenbar widersprechen. Und auſser dem über die Rhombenoctaëder n^2 des zweiten und n^3 des dritten Typus schon Angeführten habe ich auch gefunden:

1) In einigen meiner Meinung nach einfachen *(nicht Zwillings-)* Krystallen des zweiten Typus treten die Rhombenoctaëder der Reihe r mit allen ihren Flächen auf (s. Fig. 2.).

2) In einigen Drillingen des dritten Typus (Taf. II. Fig. 9.) ist das Rhombenoctaëder r^4 vollständig vorhanden.

3) Die Rhombenoctaëder n des zweiten und n^4 des dritten Typus habe ich bisweilen mit allen ihren Flächen gefunden.

4) Auch das halbe Rhombenoctaëder m^2 habe ich bisweilen gefunden, nicht wie gewöhnlich auf der entgegengesetzten Seite von r^2, sondern auf derselben Seite mit r^2.

Die Humitkrystalle, zu welchem Typus sie auch gehören mögen, finden sich oft als Zwillinge oder Drillinge,

so daſs die Basis A des einen Krystalls zur Basis A des andern unter einem Winkel von ungefähr 120° und 60° geneigt ist. Betrachtet man die drei Typen als zu derselben Mineralspecies gehörig, so können zwei verschiedene Zwillingsebenen diese Neigung der Basen in den Zwillingskrystallen verursachen. Die eine, welche als Zeichen hat $a, b, \infty c$ findet sich an keinem Humitkrystall, *(il quale non si trova in alcun cristallo di Humite)* — wir wollen sie mit e' bezeichnen; die andere, $a, \frac{1}{3}b\ \infty c$, findet sich nur an Krystallen des dritten Typus, wir wollen sie $e_{\frac{1}{3}}$ nennen. Die erstere Ebene würde sich unter 59° 47′ zur Axe a neigen, die zweite bildet mit derselben Axe a einen Winkel von 29° 47′. Wenn daher die Zwillingsebene e' wäre, so würden die Basen A der einfachen Krystalle Winkel von 119° 34′ und 60° 26′ mit einander machen; ist aber die Zwillingsebene $e_{\frac{1}{3}}$, so machen die Basen A der beiden Krystalle einen Winkel von 120° 26′ und 59° 34′.

Bei allen Zwillingskrystallen des zweiten und dritten Typus, die ich untersuchen konnte, fand ich e' als Zwillingsebene der erstern, und $e_{\frac{1}{3}}$ als Zwillingsebene der letzteren. Darüber habe ich mir Gewiſsheit verschafft theils durch directe Messung des Neigungswinkels der Basen A, theils noch sicherer und zweifelloser dadurch, daſs ich bei den Zwillingskrystallen des zweiten Typus eine vollkommene Coïncidenz der Flächen r^2 des einen Krystalls mit den Flächen r^2 des andern in derselben Ebene beobachtete (Taf. II. Fig. 6 u. 7). An den Zwillingskrystallen des dritten Typus fallen die Flächen r^7 der beiden einfachen Krystalle in eine Ebene zusammen, während dies bei den Flächen r^2 nicht ganz der Fall ist (Taf. II. Fig. 8 u. 10).

Um die Wichtigkeit dieser Beobachtung besser einzusehen, stelle man sich vor, daſs C und C' (Fig. 13) die Projectionen zweier Rhombenoctaëder r^7 des zweiten Typus auf einer Ebene, senkrecht auf die Axe c, seien. Diese Rhombenoctaëder haben als Zeichen $a, b, \frac{1}{7}c$ und folglich machen die Kanten Ab, $b'A'$, ba, $b'a'$ u. s. w. mit der Axe a Winkel von 59° 47′. Läſst man nun die Kante ba

mit der Kante $b'a'$ zusammenfallen, so werden die Kanten AB mit $b'a'$ und ba mit $A'B'$ parallel seyn. Folglich sind die Flächen r^2 und $r^{2''}$ des Krystalls C mit den Flächen $r^{2'}$ und $r^{2'''}$ des Krystalls C' parallel. Haben sich nun die Zwillingskrystalle des Humits gegenseitig durchdrungen Fig. 14, so fallen die parallelen Flächen zusammen und daher bildet die Fläche $r^{2'}$ eine Ebene mit der Fläche r^2 und ebenso die Fläche $r^{2''}$ mit der Fläche $r^{2'''}$. Nun begreift es sich leicht, daſs, wenn jene Coïncidenz wahr ist, auch das Gesetz, aus welchem man sie ableitet, wahr seyn muſs, nämlich daſs die Zwillingskanten ba und $b'a'$ sind oder — was dasselbe ist — daſs die Zwillingsebene e' ist.

Wenn ferner C und C' (Fig. 15.) die Projection zweier Rhombenoctaëder r^7 des dritten Typus mit den Zeichen $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{6}c$ ist, so läſst sich, wie im vorigen Fall, beweisen, daſs da r^7 von C mit $r^{7'''}$ von C' und $r^{7''}$ von C mit $r^{7'}$ von C' parallel sind, die Zwillingsebene $e_{\frac{1}{3}}$ mit dem Zeichen $a, \frac{1}{3}b \infty c$ seyn muſs.

Wenn die Neigung von e' zur Axe a genau 60° und die Neigung von $e_{\frac{1}{3}}$ zu derselben Axe genau 30° wäre, so könnte man nicht entscheiden, ob in den Zwillingskrystallen e' oder $e_{\frac{1}{3}}$ die Zwillingsebene wäre. Denn in beiden Fällen würden bei der Durchwachsung der Krystalle die Flächen A genau unter 120° und 60° geneigt seyn. Und bei den Zwillingskrystallen des dritten Typus würde man beobachten, daſs sowohl die Flächen des Rhombenoctaëders r^7 mit dem Zeichen $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{6}c$, als auch die des Rhombenoctaëders r^4 mit dem Zeichen $a, b, \frac{1}{2}c$ in eine Ebene zusammenfallen. Da ich aber durch die Rechnung wie durch die goniometrischen Messungen gezeigt habe, daſs e' zur Axe a unter 59° 47′ und $e_{\frac{1}{3}}$ unter 29° 47′ zu derselben geneigt sind, so können, wenn $e_{\frac{1}{3}}$ die Zwillingsebene ist, die Flächen des Rhombenoctaëders r^4 nicht völlig in eine Ebene fallen. Das bestätigt sich auch in der That; denn in den Zwillingskrystallen des dritten Typus bilden die neben einander liegenden Flächen des Rhombenoctaëders r^4 zweier einfachen Krystalle einen

Digitized by Google

sehr stumpfen einspringenden und ausspringenden Winkel (Taf. II. Fig. 10.), welcher nach den Messungen $= 179^\circ\ 30'$, nach der Berechnung $= 179^\circ\ 24',7$ ist.

In den Fig. 6 und 7. habe ich zwei der einfachsten Zwillingsgestalten von Krystallen des zweiten Typus dargestellt, an denen ich nur die an den Originalen vorkommenden Flächen und zwar gänzlich in demselben Gröſseverhältniſs, wie sie sich finden, gezeichnet habe. In der Gruppe Fig. 6. zeigt sich eine vollkommene Durchwachsung der beiden Krystalle; daher liegt die Fläche r^2 der linken obern Seite des Krystalls A mit der Fläche $r^{2\prime}$ der linken untern Seite des Krystalls A' in einer Ebene. In der Fig. 7. sieht man — ein sehr seltener Fall — die beiden Krystalle ohne Durchwachsung vereinigt. Und hierbei ist bemerkenswerther Weise das Verwachsungsbestreben der Fläche r^2 der einfachen Krystalle so vorwaltend, daſs alle die Flächen verschwunden sind, welche an der rechten obern Seite des Krystalls A zur Bestätigung der Verwachsung von dieser Seite da seyn müſsten.

Fig. 8. stellt einen Zwillingskrystall des dritten Typus dar mit der Zwillingsebene $e\frac{1}{3}$. Hier fallen wiederum die identischen Flächen dreier verschiedener Rhombenoctaëder in eine Ebene. Die Rhombenoctaëder, welche dies Verhalten zeigen, sind das früher besprochene r^7 mit der Bezeichnung $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{6}c$, n^3 mit der Bezeichnung $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{3}c$ und m mit den Zeichen $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{7}c$. Der Grund für die Coïncidenz in allen drei Arten liegt darin, daſs der Coëfficient der Axe b immer $\frac{1}{3}$ ist.

Die Gruppe Fig. 10. ist scheinbar etwas verwickelter; denn man kann sie betrachten als aus 4 Krystallen gebildet, die je 2 und 2 dieselbe Lage haben. Da in der That die Flächen A mit A'' und A''' mit A' parallel sind, so haben folglich die Krystalle A und A'' einerseits und die Krystalle A''' und A' andererseits wegen der Stellung ihrer Axen eine ähnliche Lage, und sowohl die erstern als die letzteren würden einen einzigen Krystall bilden, wenn die Basis A mit A'' und die Basis A''' mit A' in einer Ebene

lägen. Unter dieser Voraussetzung würde keine wesentliche Abweichung von der Zwillingsgestalt Fig. 8. stattfinden. Aber die richtige Anschauung solcher Krystallgruppen, die sich an den Krystallen des dritten Typus nicht selten finden, ist die, daſs man sie als zwei zusammengewachsene Zwillingskrystalle betrachtet, deren Vereinigungsebene auch $e_{\frac{1}{3}}$ ist, weshalb sie als Vierlinge erscheinen. Indessen ist zu bemerken:

1) Daſs $e^{3'}$ mit A'' nicht völlig in einer Ebene liegt, sondern damit einen einspringenden Winkel von 179° 21′ bildet.

2) Daſs r^4 mit $r^{4''}$ und $r^{4'''}$ mit $r^{4'}$ parallel ist.

3) Daſs $r^{4'''}$ mit r^4 und $r^{4''}$ mit $r^{4'}$ einspringende Winkel von 179° 24′,7 und r^4 mit $r^{4'}$ ausspringende Winkel von derselben Gröſse bilden.

An dem Krystalle, welcher dieser Zeichnung zu Grunde liegt, sind viele sehr feine parallele Streifen auf den Flächen A und A' und die Vereinigung von r^7 mit $r^{7'''}$ und von $r^{7'}$ mit $r^{7''}$ ist, wie ich es in der Zeichnung dargestellt habe, durch eine wellige Linie angezeigt. Dennoch geben sowohl die beiden ersten, als auch die letzteren Flächen nur *ein* Bild von reflectirten Gegenständen, sie liegen also in einer Ebene oder wenigstens einander parallel.

Von den Krystallen des zweiten und dritten Typus finden sich auch drei gleichzeitig verwachsen und dieser Fall, der vielleicht am häufigsten vorkommt, erschwert sehr ihre deutliche Erkennung. Es pflegen in einer Gruppe zwei oder mehre Krystalle von ähnlicher oder einer solchen Stellung vereinigt zu sein, daſs in ihrer gegenseitigen Lage nur kleine Abweichungen statt finden; daraus entsteht ein fast unentwirrbares Durcheinander von ein- und ausspringenden Winkeln in öfterer Wiederkehr. An den wirklichen oder wenigstens scheinbaren Drillingen sowohl des zweiten als dritten Typus ist die Zwillingsebene (*indistintamente*) entweder e' oder $e'_{\frac{1}{3}}$. Fig. 9. stellt einen Krystall des dritten Typus dar, der scheinbar ein Drilling ist. Das Bemerkenswertheste an ihm ist zum Unterschied von denen

in

Digitized by Google

in Fig. 6 und 8., daſs an der linken Seite jedes einfachen Krystalls sich die nämlichen Flächen finden, statt daſs dieselben wie an der rechten Seite des andern Krystalls angeordnet seyn müſsten. Daher kommt es, daſs bei der Betrachtung je zweier Individuen die an ihnen auftretenden Flächen r' nicht diejenigen sind, die in eine und dieselbe Ebene fallen müſsten. In der Gruppe, die zu dieser Zeichnung gedient hat, reflectirten die Basen der Krystalle A und A' nur Ein Bild der Gegenstände, während die obere Fläche von A'' drei Bilder und die untere Fläche von A'' zwei Bilder gab. Ich sehe daher den Krystall $A''A''$ als aus dreien gebildet an, und nenne diese $A''x$, $A''y$, $A''z$; sie bieten in ihrer gegenseitigen Lage nur geringe Abweichungen dar, und der scheinbare Drilling muſs daher als Fünfling angesehen werden. Folgendes sind die Neigungswinkel von A, A' und A''.

		Gemessen:	Berechnet:
$A : A'$		= 119° 26′	119° 34
$A : A'$	unten	= 60° 35′	60° 26
$A : A''x$		= 121° 0′	120° 52′
$A : A''y$		= 120° 23′	120° 26′
$A : A''z$		= 120° 1′	120° 0′
$A : A''z$	unten	= 59° 54′	60° 0′
$A : A''y$	unten	=	59° 34′
$A : A'x$	unten	= 59° 4′	59° 8′

Aus den gefundenen Winkeln läſst sich für die dargestellte Gruppe folgende Zwillingsbildung ableiten:

AA	mit	$A'A'$	Zwillingsebene	e
$A'A'$	»	$A''x\,A''x$	»	e'
AA	»	$A''y\,A''y$	»	$e\frac{1}{3}$
$A'A'$	»	$A''z\,A''z$	»	$e'\frac{1}{3}$

Als diese Vereinigungsweise der einfachen Krystalle festgestellt war, berechnete ich die in der zweiten Spalte angeführten Winkel, deren geringe Abweichungen vom Werth der gefundenen die Gränzen der bei Messung mäſsig glänzender Krystalle unvermeidlichen Irrthümer nicht sehr überschreitet.

Die Krystalle des ersten Typus sind meistens einfache oder sie bestehen aus zwei einfachen mit den Basen A verbundenen Krystalle; denn oft sind sie in der Mitte etwas eingeschnürt, wegen der von dem untern e^5 des obern Theils mit dem obern e^5 des untern Theils gebildeten einspringenden Winkel. Bisweilen findet man unter ihnen einen Krystall, dessen Basis A mit der Basis A des ersten Krystalls Winkel von ungefähr 120° und 60° macht, wie in den Zwillingskrystallen der beiden andern Typen. Aber die Aufsuchung ihrer Zwillingsebenen ist mir etwas schwer geworden, weil an ihnen die Rhombenoctaëder fehlen, die für die Axe b als Coëfficient $\frac{1}{3}$ oder 1 haben und durch das Zusammenfallen ihrer Flächen in eine Ebene das Gesetz der Zwillingsbildung klar machen könnten. An den wenigen von mir beobachteten Zwillingskrystallen des ersten Typus konnte ich nur zweimal die Neigung der Basen der einfachen Krystalle messen, da ich sie ungefähr = 120° 30′ fand, so zweifle ich nicht, daſs in den gemessenen Gruppen die Zwillingsebene $e\frac{1}{3}$ ist. Uebrigens scheint mir dieſs nicht hinlänglich, um eine allgemeine Regel daraus abzuleiten.

Die bisher von den Krystallformen des Humits erwähnten Thatsachen sind gewiſs auſsergewöhnlich, und um ihren wahren Grund anzugeben scheinen mir unsere jetzigen krystallographischen Kenntnisse nicht auszureichen. Was die Thatsache anbetrifft, daſs es drei verschiedene Typen der Krystalle giebt, deren jeder durch zahlreiche Flächen, die in den andern Typen fast alle fehlen, ausgezeichnet ist, und mehr noch daſs die Flächen desselben Typus durch sehr einfache Gesetze unter einander im Zusammenhang stehen, und daſs die Axen b und c der drei Typen ihr Verhältniſs $\frac{1}{7}:\frac{1}{5}:\frac{1}{9}$ beibehalten, so ist dieſs eine Thatsache, die ich mit allen ihren Eigenthümlichkeiten am Dimorfin[1]) wiedergefunden habe, an welchen es zwei Typen giebt, und bei welchem die Typen b und c des einen Typus zu densel-

1) *Memorie geologiche sulla Campania per A. Scacchi. Napoli* 1849. *p.* 119.

Digitized by Google

ben Axen des andern im Verhältniſs von $\frac{1}{7}:\frac{1}{5}$ stehen. Wir können daraus schlieſsen, daſs die Humitkrystalle aus zusammengesetzten Moleculen verschiedener Ordnung bestehen. In der That, nimmt man in dem allen Krystallen dieser Mineralspecies gemeinsamen Elementar-Molecul die Axen $a:b:c = 1:1{,}7172:1{,}5897$ an und fügt sieben solcher Molecule in die Richtung der Axe a zusammen, so wird man in dem zusammengesetzten Molecul die Axen $a:b:c = 1:0{,}245315:0{,}227101$ finden, ein Verhältniſs, welches sich bei den Axen der Grundform der Krystalle des ersten Typus findet. Reiht man auf ähnliche Weise fünf oder neun Elementar-Molecule in der Richtung der Axe a an einander, so erhält man in den zusammengesetzten Moleculen Axenverhältnisse wie sie denen des zweiten und dritten Typus entsprechen. Diese Erklärung einer nicht unmittelbar wahrnehmbaren Thatsache ist so einfach und natürlich, daſs sie als treue Uebersetzung des oben Erörterten gelten kann, wo mit Zahlen das Verhältniſs der Axen b und c in Krystallen von verschiedenem Typus angegeben ist. Es ist dabei nur der aus den goniometrischen Messungen gefolgerte algebraische Ausdruck in die vielleicht noch deutlichere Sprache der Physik übersetzt. Aber warum verbinden sich von den Elementar-Moleculen in den verschiedenen Fällen immer 5, 7 oder 9 miteinander?

Unter den bemerkenswerthesten Erscheinungen an den Humitkrystallen ist auch die eigenthümliche Hemiëdrie fast aller Rhombenoctaëder des zweiten und dritten Typus auffallend, wodurch nicht, wie in allen bisher bekannten Fällen, ein Tetraëder entsteht, sondern rhombische Prismen, indem die vier Flächen bleiben, die in einer und derselben Zone liegen. Ist nun auch diese Erscheinung nicht durchaus constant, so schmälern doch die sehr seltenen Ausnahmen ihre Wichtigkeit nur wenig, und wenn man einst die Ursache entdeckt haben wird, dann werden die seltenen Ausnahmen leicht verständlich seyn.

Für die künftigen Fortschritte der Krystallographie wird die Betrachtung zweckmäſsig seyn, wie an den Humitkry-

ſtallen die verschiedenen Flächen eines jeden Typus sich sämmtlich in besondern Zonen befinden, unter welche die Flächen der Krystalle von verschiedenem Typus nicht eingereiht werden können. Bei der Betrachtung von Fig. 4 und 5. bemerkt man eine ungewöhnliche Anordnung, die sich kurz so erklären läſst, daſs dort bestimmte Flächenzonen vorhanden sind. In der That haben wir für den zweiten Typus Fig. 4. folgende drei Zonen $e^{2'}$, r, n, m; — $e^{2'}$, r^{2}, i, r^{3}, n^{2}, m^{2}; — $e^{2'}$, $n^{2'}$, r^{4}, C, $r^{4'}$, $n^{2''}$, welche alle Flächen auſser A und e umfassen. Auſserdem haben wir noch drei andere Zonen e, r^{2}, $n^{2'}$, $m^{2'}$ — e, r, i, r^{4}, $n^{2'''}$, m'; — e, n, r^{3}, C, $r^{3'}$, n', welche alle Flächen auſser A und e^{2} begreifen; endlich noch vier Zonen A, m, m^{2}; — A, n, n^{2}, $n^{2''}$ — A. r, r^{3}, $r^{4'}$, $r^{2'}$; — A, i, C, i', welche alle Flächen auſser e und e^{2} begreifen. Im dritten Typus Fig. 5. sind die Zonen $e^{4'}$, r^{2}, i, r^{3}, n^{2}, m; — $e^{4'}$, r^{4}, i^{2}, r^{5}, n^{3}; — $e^{4'}$, n^{3}, r^{6}, i^{3}, r^{7}, n^{4}, m^{2}; — e^{2}, r^{3}, i^{2}, r^{6}; — e^{3}, n^{2}, r^{5}, i^{3}, r^{7}, $n^{4'}$; — e^{3}, m, n^{3}, r^{7}, C u. s. w. Alle diese Zonen, die ausgenommen, welche A oder C umfassen, haben ihre Ebenen[1]) schiefwinklig gegen alle drei Axen des Krystalls geneigt: die Ebenen der Zonen, die A oder C enthalten, sind parallel der einen Axe und machen mit den beiden andern Axen schiefe Winkel; die Ebene der Zone, die A und C enthalten, ist parallel zwei Axen und perpendikulär der dritten. Man kann daher die ersten *triklinische,* die zweiten *diklinische* und die letzten rechtwinklige Zonen nennen.

Bei den Krystallen des ersten Typus Fig. 1. giebt es auſser den diklinischen und rechtwinkligen Zonen, welche die mit der Spaltungsrichtung parallele Fläche A enthalten und in allen Stücken mit denen der beiden andern Typen übereinstimmen, folgende diklinische Zonen B, n^{2}, r^{2}, i^{3} — B, n, r^{3}, i^{2}; — B, r, i und eine triklinische e^{4}, r^{2}, i^{2}, r^{4}, $n^{2'}$, o', welche alle Rhombenoctaëder und die rhombischen Prismen der Reihe i enthalten. In den Krystallen des

1) Drei oder mehr Flächen gehören zu derselben Zone, wenn man Eine für alle normale Ebene construiren kann. Diese Ebene heiſst die *Zonenebene.*

Digitized by Google

ersten Typus walten also die diklinischen, in denen des zweiten und dritten Typus die triklinischen Zonen vor. Und während es bei den erstern drei Rhombenoctaëder r, r^3, r^5 giebt, deren Flächen mit einer Fläche aus der Reihe *i* in denselben diklinischen Zonen liegen, giebt es bei den letztern kein Rhombenoctaëder mit denselben Verhältnissen.

Die Beobachtung, daſs nicht nur bei den Humitkrystallen, sondern auch bei denen vieler andern Mineralspecies die Flächen in besondere Zonen vertheilt sind, erweckte in mir den Gedanken, daſs die Ursache der verschiedenen Gestalten, welche die Krystalle derselben oryktognostischen Species darbieten, und überhaupt die Kräfte, welche die Vereinigung der Molecule bei der Krystallbildung anordnen, solcher Art seyen, daſs man daraus die Zonen-Anordnung, welche man thatsächlich beobachtet, ableiten muſs. Ich habe mich daher bewogen gefunden, eine sehr lange Arbeit über die geometrischen Gesetze der Krystallzonen zu unternehmen, die ich hoffentlich in Kurzem veröffentlichen werde, und enthalte mich deshalb eines längern Verweilens bei diesem Gegenstande.

Um zum Humit zurückzukehren, so findet sich derselbe nur krystallisirt in den losen Blöcken des Monte Somma. Fast immer trifft man in demselben Block nur Krystalle desselben Typus, bloſs zweimal fand ich Krystalle des ersten und dritten Typus zusammen. Zwei Gesteine enthalten gewöhnlich Humit: der blättrige oder körnige Kalk und ein anderes eigenthümliches Gestein von granitischer Structur, das aus weiſslichem Olivin, Glimmer und Magneteisenstein besteht. In dem erstern Gestein sind die Humitkrystalle entweder auf der innern Fläche der Geoden aufgewachsen oder sie sind von dem Kalke locker bedeckt und fast immer von Zeilanit und grünen Glimmerkrystallen begleitet. Die sich so findenden Krystalle gehören in der Regel zum zweiten oder dritten Typus. In dem andern Gestein kommen gewöhnlich die Krystalle des ersten oder dritten Typus vor und zwar meistens in Begleitung von

Zeilanit, Vesuvian, Granat und kleinen gelben Augiten, die man häufig fälschlich für Topase gehalten hat. Doch findet sich der Humit auch, wiewohl seltener, in vielen andern Gesteinen, begleitet von so viel verschiedenen Mineralien, daſs ihre Aufzählung zu lang und unnütz seyn würde.

Die Farbe des Humits ist sehr verschieden, am häufigsten ist sie braun und röthlichbraun, gelb oder weiſs. An ihr hat man durchaus keinen Anhaltspunkt für die Unterscheidung der Krystalle von verschiedenem Typus, denn alle ohne Unterschied bieten dieselben Farbenvarietäten dar. Oft ist es eben so unmöglich, sie nach dem Ansehen ihrer Gestalt zu unterscheiden; trotz der langen Uebung habe ich bisweilen nur mittelst des Goniometers das Richtige treffen können. Die groſse Zahl der Flächen und der vielen einspringenden Winkel, die sich in der Gestalt von Streifen auf den Flächen der Reihe *e* zeigen, sind die sichersten Merkmale, um nicht den Humit mit Vesuvian oder Olivin zu verwechseln.

Sein specifisches Gewicht, mit kleinen Krystallbruchstücken bestimmt, ist ungefähr = 3,2. In der Muthmaſsung, daſs die Krystalle von verschiedenem Typus eine verschiedene Dichtigkeit haben könnten, habe ich Versuche darüber angestellt und erhielt:

Spec.	Gew.	von	weiſsen	Krystallen	des	1.	Typus	= 3,231
»	»	»	braunen	»	»	3.	»	= 3,199
»	»	»	gelblichen	»	»	3.	»	= 3,186
»	»	»	gelben	»	»	2.	»	= 3,177.

Seine Härte ist = der des Feldspaths oder etwas gröſser. In der Löthrohrflamme verändert er sich nicht. Mit erwärmter Salzsäure zersetzt sich das gepulverte Mineral leicht.

Den Humit unterschied zuerst der Graf v. Bournon, der ihn im Jahre 1817[1]) beschrieb und ihm den Namen des Hrn. Abrah. Hume, Vicepräsidenten der Londoner geologischen Gesellschaft, beilegte. Später hat Phillips

1) *Catalogue de la collection mineralogique particulière du Roi de France. Paris* 1817.

Digitized by Google

das Krystallsystem des Humits kennen gelehrt und die goniometrischen Messungen von 27 beobachteten Flächen bekannt gemacht [1]).

G. Rose hat diese Species vielleicht wegen der eigenthümlichen Hemiëdrien der Krystalle des zweiten und dritten Typus zu dem monoklinoëdrischen System gerechnet [2]). Vor ungefähr 10 Jahren (1839) überreichte ich der Königl. Academie der Wissenschaften in Neapel eine Abhandlung, in welcher ich den Unterschied zweier Typen der Humitkrystalle kennen lehrte, nämlich des ersten und zweiten, von denen ich damals glaubte, daſs sie zwei verschiedenen Mineralspecies angehören müſsten; ich behielt daher für den erstern den Namen Humit bei und nannte den zweiten Brocchit zu Ehren des berühmten Geologen Brocchi. Von dieser Abhandlung erschien nur eine unvollständige Notiz in den *Annali civili del Regno di Napoli* [3]) und als ich auch kurz darauf die Krystalle des dritten Typus untersucht hatte, unterlieſs ich die Veröffentlichung der ganzen Arbeit. Im Jahre 1846 legte der Prof. C. Marignac der Genfer Gesellschaft für Naturgeschichte eine Arbeit über Humit vor, in welcher er zeigte, daſs die chemische Zusammensetzung dieser Species mit der des Chondrodits identisch sey; er unterscheidet ferner drei Typen von Krystallformen und verschafft uns die Kenntniſs von 35 Arten von Flächen [4]). Da er aber die Beziehungen zwischen den Krystallen von verschiedenem Typus nicht kannte, hielt er die Flächen e^2 des ersten Typus für identisch mit e^2 des zweiten Typus und r^4 des ersten mit r^6 des dritten Typus, die doch wesentlich verschieden sind; er stellte ein Axenverhältniſs auf, welches ihn auf höchst verwickelte Bezeichnungen führte. In dieser meiner neuesten Arbeit habe ich nun bis an 50 Arten von Flächen von Humit kry-

1) *Quarterly Journal of Sciences. T. I., p.* 314.
2) *Elements de cristallographie, traduit par M. Victor Regnault etc. Par.* 1834. *p.* 269.
3) *Fascic. XLV., p.* 15, 16.
4) *Archives des sciences physiques et naturelles No.* 14.

stallen kennen gelehrt; ich habe die Beziehungen zwischen den Krystallen der verschiedenen Typen auseinandergesetzt, auf die ungewöhnliche Hemiëdrie der Rhombenoctaëder des zweiten und dritten Typus aufmerksam gemacht und die verschiedenen Fälle der Zwillingsbildung bestimmt.

Olivin.

Diese sehr bekannte und an vielen Orten vorkommende Species erwähne ich hier nur, um ihre Krystalle mit dem Humit zu vergleichen, mit dem sie in ihren wesentlichen geometrischen Charakteren so viel Aehnlichkeit haben, daſs man mit Recht eine Aehnlichkeit beider in der chemischen Zusammensetzung vermuthen kann.

Auſser den in den Laven des alten M. Somma und des neuen Vesuvs sehr häufig vorkommenden grünen Olivinkrystallen findet sich dieselbe Varietät auch in den losen Blöcken des M. Somma. In denselben Blöcken finden sich ferner so viele andere Olivinvarietäten, daſs mich die Aufzählung selbst nur der merkwürdigsten von meinem Ziele weit entfernen würde. Es sey hier indeſs beiläufig bemerkt, daſs der Forsterit von Levy[1]) und der Monticellit von Brooke[2]) zum Olivin gehören, daſs die Abweichungen dieser Species im Gehalt von Eisenoxydul oder Kalkerde liegen, die zum Theil die Magnesia vertreten, und daſs diese nicht nur das äuſsere Ansehen des Olivins,

1) *Ann. of. Phil. XXXVII.*, 61. Die Forsteritkrystalle bestehen nach Levy aus den Flächen *A*, *B*, *r*, o^3, Fig. 12. Abgesehen von der Differenz von ungefähr 1° bei den Winkeln dieser Species und denen, die ich am Olivin fand, ist es merkwürdig, daſs die Spaltbarkeit, wenn hier kein Beobachtungsfehler vorliegt, parallel *A*, nicht *B* sein soll. An den weiſsen Olivinkrystallen, die alle andern am Forsterit beschriebenen Merkmale und auch dasselbe Vorkommen haben, beobachtete ich nur die Spaltbarkeit parallel *B* und nur an einigen sehr zerbrechlichen Krystallen habe ich auſser der deutlichen Spaltbarkeit parallel *B* noch eine Andeutung von Spaltbarkeit parallel *A* gefunden. Die analytischen Versuche von Children, nach denen der Forsterit aus Kieselsäure und Magnesia besteht, sind ein Grund mehr, ihn nicht vom Olivin zu trennen.

2) *On Monticellite, a new species of mineral. Philosoph. Magaz. and Annals for October* 1831.

Digitized by Google

sondern auch merklich die Härte, die Schmelzbarkeit vor dem Löthrohr und die Zersetzbarkeit durch Säuren verändern.

Die grünen Olivinkrystalle pflegen bis an 11 Arten von Flächen zu besitzen; dieſs ist die höchste von mir aufgefundene Anzahl (Fig. 11.). Die andern weiſsen oder weiſslichen Varietäten pflegen nur die in Fig. 12. gezeichneten Flächen zu zeigen und oft fehlt die Fläche *A*.

Ich habe zu den genauesten Messungen einen grünlichweiſsen, durchsichtigen und sehr glänzenden Krystall benutzt, der in einem aus Augit und Glimmer bestehenden Block sich fand und alle Flächen der Fig. 11. hatte. Nach dem Werthe der gefundenen Winkel bin ich geneigt, folgendes Längenverhältniſs der Axen der Grundform anzunehmen:

$$a : b : c = 1 : 1{,}70464 : 1{,}59396.$$

Vergleicht man dieses Verhältniſs mit dem der Axen des Humits, so findet sich hier nur eine sehr kleine Abweichung in der zweiten Decimalstelle, wodurch die Axe *b* kleiner, die Axe *c* gröſser wird.

Bei einem andern durchsichtigen Olivinkrystall, den Fig. 12. darstellt, erhielt ich durch fast eben so genaue Messungen, wie vorher, das Verhältniſs:

$$a : b : c = 1 : 1{,}72845 : 1{,}59467;$$

die Axe *b* hat also den veränderlichsten Werth.

Mit den Krystallen der andern Olivinvarietäten konnte ich nicht sehr genaue Messungen anstellen und die Abweichungen in ihren Winkeln, immer auf wenigen Minuten beschränkt, erlaubten nicht einen sehr bestimmten Unterschied der Neigungen bei denselben Flächen festzustellen. Den Werth der in der ersten Spalte nachstehender Uebersicht enthaltenen Winkel habe ich als Mittel zweier oder mehrer Messungen an verschiedenen Krystallen erhalten.

Digitized by Google

	Gemessen:	Berechnet:	Bezeichnung:
$A : e$	$=$ 149° 30′	149° 36′, 2	$a, \quad b, \infty c$
*$A : e^2$	$=$ 130° 26′ 30″	130° 26°, 5	$a, \quad \frac{1}{2}b, \infty c$
$A : i$	$=$ 128° 29′	128° 22′, 7	$a, \infty b, \quad \frac{1}{2}c$
$B : o$	$=$ 144° 24′	144° 20′, 5	$\infty a, \quad b, \quad \frac{3}{2}c$
$B : o^2$	$=$ 132° 58′	132° 53′, 9	$\infty a, \quad b, \quad c$
*$B : o^3$	$=$ 114° 55′ 10″	114° 55′, 2	$\infty a, \quad b, \quad \frac{1}{2}c$
$A : r$	$=$ 126° 0′	125° 41′, 3	
$B : r$	$=$ 110° 5′	110° 0′, 7	$a, \quad b, \quad \frac{1}{2}c$
$C : r$		137° 26′, 5	
$A : n$	$=$ 120° 12′	120° 7′, 3	
$B : n$	$=$ 126° 14′	126° 4′, 2	$a, \quad \frac{1}{2}b, \quad \frac{1}{2}c$
$C : n$	$=$	129° 19′, 2	

Durchsichtiger Krystall:

$A : r$	$=$ 125° 54′	125° 54′
$B : r$	$=$ 109° 50′	109° 50′
$C : r$	$=$	137° 21′.

Von den wenigen Flächenarten des Olivins finden sich e, e^2, i, o^2 und n nicht an dem Humit, dagegen o und o^3 an Humiten des ersten Typus. Die Winkel, welche Flächen derselben Art mit der Axe b machen, differiren um 6 oder 3 Minuten. Das Rhombenoctaëder r ist identisch mit r^2 des zweiten und mit r^4 des dritten Typus und der Unterschied zwischen der Neigung ihrer Flächen zur Axe a beträgt nur 7 Minuten.

Eine bedeutendere Verschiedenheit zwischen den Humiten und den Olivinen bedingt die Spaltbarkeit, denn am erstern giebt es nur eine wenig deutliche Spaltungsrichtung parallel der Basis A, an letztern ist die Spaltbarkeit parallel B, doch findet sich auch eine Andeutung von Spaltungsrichtung parallel A.

Unter den durchsichtigen Olivinen fand ich auch Zwillinge, deren Zwillingsebene der Fläche e entspricht, daher fällt auch ein Theil der Flächen r (Fig. 12.) der einfachen Krystalle in dieselbe Ebene, wie bei den Humitzwillingen des zweiten Typus. An aschgrauen Varietäten von Olivin

Digitized by Google

habe ich auſser Zwillingen einige Drillinge beobachtet; aber ihre unvollkommenen Flächen lieſsen nicht mit Sicherheit die Erkennung ihrer Zwillingsebene zu.

Vielleicht weisen später die chemischen Analysen die Analogie zwischen Olivin und Humit nach, welche man nach ihrer krystallographischen Aehnlichkeit voraussetzen muſs. Schlieſslich verdient noch bemerkt zu werden, daſs Chrysoberyll (Cymophan) in seiner Krystallform dasselbe Verhalten wie Humit und Olivin zeigt, selbst die Art der Zwillingsbildung nicht ausgenommen.

II. *Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Philosoph. Transact. f.* 1851.)

Fortsetzung von S. 146.

2878. Gehen wir von diesen hypothetischen und verhältniſsmäſsig einfachen Fällen zu den wirklichen über, so müssen wir erwägen, daſs die Intensität und Richtung der Magnetkraft an der Erdoberfläche zwar mit Temperatur- und Dichtigkeitsänderungen der Atmosphäre variiren muſs, aber doch in ganz anderer Weise als es bei der zum Vorbild genommenen Kugel geschehen würde. Indeſs ist der Vergleich im Principe stichhaltig, und es steht zu erwarten, daſs, so wie uns die Sonne in Westen verläſst, ein Effect entsprechend dem der Annäherung einer kalten Luftmasse von Osten her erzeugt wird, daſs dieser erst zu-, dann abnimmt, und ihm eine Reihe anderer Effecte folgen, so wie die Sonne wieder aufgeht und warme Luft mit sich bringt.

2879. Die Atmosphäre nimmt nach oben an Dichtigkeit

Digitized by Google

ab, und diese Abnahme wird die Transmission der Magnetkraft afficiren, aber so lange sie constant ist, wird der durch sie erzeugte Effect ebenfalls constant seyn. Der Theil der Erde, welcher unter dem erwärmenden Einfluſs der Sonne liegt, wird hinsichtlich seiner Dicke mehr einen um die Erde gewickelten Luftstreifen (*slice of air*) als einer Luftkugel ähneln. Indeſs wird über oder unter dieser Schicht eine Ablenkung der Kraftlinien erfolgen, die sich oben bis in den Weltraum, und unten bis in die Erde erstreckt (2848), gemäſs dem bekannten Einfluſs der Magnetkraft und dem vollkommen bestimmten Charakter derselben (2809). Wir befinden uns auf dem Boden dieser Luftschicht; allein da die Atmosphäre hier dichter ist als höher hinauf, und auch in vielen Fällen hier mehr von Temperaturänderungen afficirt wird, so befinden wir uns wahrscheinlich in einer Lage, wo die von den vorausgesetzten Ursachen bewirkten Ablenkungen und Veränderungen in bedeutendem Maaſse erfolgen.

2880. Es giebt unzählige Umstände, welche jede allgemeine und regelmäſsige (*average*) Anordnung der Lufttemperatur mehr oder weniger stören (*break up*). So z. B. veranlaſst die Mannigfaltigkeit des Meeres und des Landes ungleiche Temperaturveränderungen zu verschiedenen Jahreszeiten, und wie weit dieſs geht, kann man aus Dove's schönen Isothermen-Karten ersehen, die glücklicherweise jetzt in England zu haben sind [1]). Diese Variationen bewirken vermuthlich nicht bloſs Unterschiede in der Regelmäſsigkeit, der Richtung und dem Grade der magnetischen Variation, sondern auch, wegen ihrer Nähe, Unterschiede, die mehrfach gröſser sind, als der mittlere Unterschied für eine gegebene kurze Periode, und so auch können sie Unregelmäſsigkeiten zu den Zeiten ihres Eintretens veranlassen.

2881. Beim Nachdenken über die wahrscheinlichen Resultate der magnetischen Action der Atmosphäre, scheint mir, daſs, wenn die erdmagnetische Kraft von allen periodischen und kleinen Störungen befreit, und für eine gege-

1) *Report of the British Association*, 1848, *Reports p.* 85.

Digitized by Google

bene Zeit beobachtet werden könnte, sie dennoch gewisse Effecte, die einen Theil des atmosphärischen Magnetismus ausmachen, einzuschlieſsen vermöchte. So z. B. ist über einem gegebenen Stück der Erdoberfläche unter der Breite von 24° bis 34° mehr Luft, dem Gewichte nach, vorhanden als unter höheren Breiten oder unter dem Aequator, und das muſs in der Anordnung der Kraftlinien einen Unterschied bewirken, welcher auch existirte, wenn Gleichheit in dieser Beziehung vorhanden, oder die Atmosphäre fort wäre. Ferner ist die Temperatur der Luft höher in den Aequatorialgegenden als in nördlichen oder südlichen Breiten; und da Temperatur-Erhöhung das Leitvermögen für Magnetismus vermindert, so muſs der durch diese Regionen gehende Kraft-Antheil geringer, und der durch die kälteren gehende gröſser seyn, als im Fall die Luft über der ganzen Erdoberfläche eine gleiche mittlere Temperatur besäſse oder die Luft fort wäre. Ferner ist die Schwankung der Lufttemperatur bei Erhebung unter dem Aequator gröſser als in anderen Gegenden, und folglich ist der untere Theil kein so guter Leiter im Verhältniſs zum obern Theil oder dem Weltraum als anderswo, wo der Unterschied nicht so groſs ist. Die Magnetkraft muſs sich also daselbst einigermaſsen geschwächt erweisen, die Kraftlinien müssen mehr oder weniger abgelenkt seyn, von der warmen Luft nach anderen Theilen hin, z. B. nach der kälteren Atmosphäre und dem Raume darüber oder nach der Erde darunter, gemäſs den zuvor entwickelten Principien (2808. 2821. 2877.)

2882. Das Resultat der *jährlichen Variation*, welches sich von der magnetischen Beschaffenheit der Atmosphäre erwarten läſst, scheint mir folgender Art zu seyn. Angenommen, die Drehungsaxe stehe senkrecht auf der Ebene ihres Umlaufs um die Sonne, und abgesehen von anderen Ursachen der magnetischen Variation, als die von der Atmosphäre herrührenden, so würden die beiden Erdhälften und die sie bedeckenden Luftmassen in gleichem Grade

von der Sonne erwärmt werden, oder wenigstens in einen, von der Anordnung des Landes und Wassers abhängigen, relativ constanten Zustand kommen; und die Magnetkraftlinien, welche ihre Lage unter dem Einfluſs der Hauptursachen (*great dominant causes*), worin diese auch bestehen mögen, angenommen hätten, würden durch eine von der Atmosphäre herrührende jährliche Aenderung nicht gestört werden, weil das tägliche Mittel des atmosphärischen Effects an einem gegebenen Ort für alle Theile des Jahres gleich seyn würde. Unter solchen Umständen könnte die Intensität und Richtung der Magnetkräfte als constant angesehen werden, vorausgesetzt, daſs, durch die Verschiedenheit des Abstandes der Erde, in verschiedenen Theilen ihrer Bahn, von der Sonne keine merkliche Veränderung hervorgebracht werden würde; und, was die beiden magnetischen Hemisphären betrifft, würden sie einander aequivalent oder gleich seyn, und als im mittleren oder normalen Zustand befindlich angesehen werden können.

2883. Allein da die Rotationsaxe der Erde um 66° 32′ gegen die Ebene der Ekliptik neigt, so wird von den beiden Hemisphären abwechselnd die eine und die andere wärmer, und daraus entsteht eine Veränderung des magnetischen Zustandes. Die Luft der kälteren Hemisphäre wird den magnetischen Einfluſs leichter leiten als in ihrem Mittelzustand und die Kraftlinien werden in gröſserer Menge durch sie hingehen; während in der anderen Hemisphäre die erwärmte Luft weniger gut leitet als zuvor und daraus eine Abnahme der Intensität erfolgt. Zu dieser Wirkung der Temperatur muſs noch eine andere hinzutreten, nämlich die der Vermehrung der Luft, als Folge ihrer Zusammenziehung in der kalten, und ihrer Ausdehnung in der warmen Hemisphäre; beide Umstände tragen dazu bei, die Abweichung der Kraft vom normalen Zustand in beiden Hemisphären zu vergröſsern. So wie dann die Erde ihren jährlichen Umlauf um die Sonne vollbringt, wird zu einer Zeit die früher kalte Hemisphäre warm, und damit sinkt ihre magnetische Intensität eben so tief unter den Mittelwerth als

sie zuvor darüber stand, während in der andern Hemisphäre diese Intensität zunimmt.

2884. Da die Summe der Magnetkräfte, welche von der Erde an einer Seite des magnetischen Aequators ausgehen (*crop out*), entsprechen müssen der Summe einer gleichen Kraft an der andern Seite (2809), so kann diese in einer Hemisphäre nicht intensiver oder in der andern nicht schwächer werden, ohne daſs nicht eine entsprechende Contraction oder Expansion (*enlargement*) erfolgt. Es läſst sich daher erwarten, daſs die ringsum die Erde einschlieſsende Linie ohne Neigung sich jedes Jahr abwechselnd nach Norden und nach Süden bewege, oder ein aequivalenter Effect stattfinde. Unter diesem Gesichtspunkt läſst sich der Zustand der beiden Hemisphären begreifen, wenn man annimmt, es finde zwischen ihnen eine jährliche Schwankung der Kraft hin und her statt, während welcher, obwohl weder der Charakter noch die allgemeine Anordnung der Kraft geändert wird, zur Zeit unseres Winters eine Concentration und Vergröſserung der Intensität in den nördlichen Theilen, neben einer Diffusion und Verringerung derselben in den südlichen stattfindet, und im Sommer das Umgekehrte.

2885. Hinsichtlich der *Richtung* lassen sich ebenfalls Veränderungen voraussehen. Angenommen, die magnetischen Pole der Erde fielen mit den geographischen zusammen, so würde zunächst die Neigung in der erkaltenden Halbkugel wachsen in den mittleren und polaren Theilen; allein gegen den magnetischen Aequator hin müſste sie abnehmen, um übereinzustimmen mit der Concentration der Halbkugel von stärkerer Kraft und der Dilatation (*enlargement*) der von schwächerer; wogegen auf der sich erwärmenden Halbkugel die Neigung an den polaren und mittleren Theilen ab-, und nach den magnetischen Aequator hin zunehmen müſste. Während jedes Jahrs würde sich der magnetische Aequator etwas nach Nord und Süd verschieben, zugleich mit dem ganzen System von Magnetlinien. Allein da die magnetischen Pole der Erde nicht zu-

Digitized by Google

sammenfallen mit den geographischen oder den Polen, welche die des Temperaturwechsels genannt werden könnten, so wird daraus eine Verschiedenheit der Richtung entspringen.

2886. Ferner kann seyn, daſs der Sauerstoff beim Erkalten seine parmagnetische Kraft in einem rascheren Verhältniſs verstärkt als die Temperatur abnimmt, und daſs so die Hauptveränderung in der Anordnung der erdmagnetischen Kraft im äuſsersten Norden und Süden geschieht. Daraus kann, in Verbindung mit der einhaltenden Kraft (*holding power*) der Erde (2907), sogar die umgekehrte Veränderung von der entspringen, die vorhin in niederen Breiten erwartet wurde. Wenn in unserem Winter die Kraftlinien in den Polargegenden dicht zusammen, und in niedern Breiten weiter aus einander liegen, so ist dabei das Gleichgewicht (*balance*) der Magnetkraft eben so wohl erhalten, wie wenn in unserer Halbkugel *alle* Linien zusammengedrängt und verstärkt, und durch eine entsprechende Veränderung in der südlichen compensirt würden. Im ersten Fall würde jede Halbkugel ihre eigenen Kräfte aufwiegen, im letzteren würde die eine gegen die andere aufgewogen seyn. Es kann, glaube ich, keinem Zweifel unterliegen, daſs sofern die Masse der Erde und der Raum über unserer Atmosphäre in Bezug zur jährlichen und täglichen Variation unveränderlich sind, sie auch streben würden, jede nur vom Wechsel der Temperatur und des Luftzustandes abhängige Veränderung zu dämpfen (*restrain*), gleichsam die beiden Seiten der Veränderungen, die Zu- und Abnahme der Intensität, oder die Abweichung der Richtung nach rechts und links, näher zusammenzuhalten als sie sonst seyn würden.

2887. Angenommen ferner, das Ganze einer Halbkugel werde durch Temperaturveränderung *zugleich* in derselben Richtung afficirt, so wird sie doch *unter verschiedenen Breiten nicht gleich, sondern ungleich afficirt*, weil der Betrag dieser Veränderung verschieden seyn würde.

2888. Die Verschiedenheit von Land und Wasser (2880) wird ferner jede erwartete Gleichförmigkeit des allgemeinen Resultats aufheben, und bewirken, daſs auf

der

Digitized by Google

erkaltenden Halbkugel gewisse Theile verhältnifsmäfsig mehr an Stärke zunehmen als andere; und wenn diese Theile auf entgegengesetzten Seiten des magnetischen Meridians eines gegebenen Ortes liegen, so werden sie wahrscheinlich im Stande seyn, die magnetische Declination an diesem Ort zu ändern.

2889. Da die jährlichen Temperaturveränderungen am Aequator geringer sind als in nördlicheren oder südlicheren Theilen, so wird dort vermuthlich eine nur kleine oder gar keine jährliche Variation eintreten, keine in der That durch Veränderung der Temperatur oder Dichtigkeit der Luft, sondern nur derjenige Theil, welcher aus den abwechselnden Veränderungen an den zu beiden Seiten liegenden Gegenden hervorgeht (2884).

2890. Noch ein anderer Effect, der sich als eine jährliche Variation betrachten läfst, aber mit der täglichen verknüpft ist, steht zu erwarten. Da die auf einen gegebenen Ort unter nördlichen oder südlichen Mittelbreiten einwirkenden täglichen Temperaturveränderungen der Atmosphäre im Sommer gröfser sind als im Winter, so läfst sich erwarten, dafs die magnetischen Variationen einen entsprechenden Gang nehmen, in der nördlichen Halbkugel gröfser sind, wenn die Sonne nordwärts vom Aequator steht, und kleiner, wenn sie sich in der südlichen Halbkugel befindet, und dort entsprechende Veränderungen bewirkt.

2891. Aus einer höchst wichtigen, auf die Resultate der Beobachtungen zu Toronto und Hobarton gegründeten Untersuchung des Obersten Sabine[1]) geht hervor, dafs auf beiden Halbkugeln die magnetische Intensität gröfser ist in denjenigen Monaten, die Winter in der nördlichen Halbkugel, und Sommer in der südlichen sind. Aehnliche Resultate von anderen Orten, an denen es sehr fehlt, würden zeigen, ob die verschiedene Anordnung von Land und Meer etwas mit dieser Frage zu thun habe, oder die Resultate

1) *On the means adopted for determining the Absolute Values, Secular Change, and Annual Variation of the Magnetic Force, Philosoph. Transact.* 1850, *p.* 201.

Digitized by Google

von Toronto und Hobarton als wahre Ausdrücke hemisphärischer Effecte zu betrachten seyen. Angenommen Toronto und Hobarton lieferten solche Ausdrücke, so ist die Neigung in beiden Halbkugeln gröſser (d. h. die nördliche zu Toronto, und die südliche zu Hobarton) in denjenigen Monaten, die Winter in der nördlichen, und Sommer in der südlichen Halbkugel sind. Sehr wichtig wäre es, zu ermitteln, ob in den aequatorialen Theilen der Erde eine jährliche Variation der Neigung oder totalen Kraft stattfinde. Es wäre wohl der Mühe werth, eigends deshalb eine Station zu errichten; die Instrumente dazu würden nur sehr einfach seyn und die Beobachtungen nur einen einzigen Beobachter erfordern. Sie sind in dem angeführten Aufsatz beschrieben. Unglücklicherweise sind solche Beobachtungen nicht einmal in Groſs-Britannien gemacht.

2892. Die Art, in welcher die tägliche Variation hervorgebracht oder abgeändert werden mag durch die Wirkung der Sonne auf die Atmosphäre unserer Erde, so wie diese in deren Strahlen rotirt, ist im Allgemeinen schon angegeben worden. Der ganze, der Sonne ausgesetzte Theil der Atmosphäre wird vermögend, die durch ihn hingehenden Strahlen zu brechen (*refract*), und der ganze Theil, welcher die dunkle Halbkugel bedeckt, nimmt, in Bezug auf den mittleren Zustand der Luft, ebenfalls einen andern, aber entgegengesetzten Zustand an. Es ist, wie wenn die Erde von zwei ungeheuren magnetischen Linsen eingeschlossen wäre, welche die Richtung der durch sie hingehenden Magnetkraftlinien abzuändern vermöchten.

2893. Bereits habe ich gesagt, daſs bei Nacht die Wirkung der so afficirten Atmosphäre einigermaſsen verglichen werden könnte mit der eines ungeheuren diffusen und sehr schwachen gewöhnlichen Magnets, welcher in der Lage, die er zufolge der Neigungslinie natürlich annähme, von Ost nach West über uns fortginge und uns während der Zeit in seinen Einfluſs einschlöſse; bei Tage würde die Wirkung gleich seyn der einer ähnlichen Reise nicht eines entspre-

Digitized by Google

chenden Magnets von umgekehrter Lage, sondern der einer entsprechenden Kugel von diamagnetischer Substanz (2821). Angenommen das Maximum der Wärme und Kälte träte um Mittag und Mitternacht ein, so dürften wir erwarten, daſs die Maxima der Intensität ebenfalls nahe bei diesen Zeiten erfolgten (2824. 2866); denn unter sonst gleichen Umständen sind die centralen Theile der erwärmten und erkalteten Massen diejenigen, wo der Intensitäts-Unterschied am gröſsten seyn würde.

2894. Diese Variation in der *Intensität* dürfte am gröſsten seyn an den Theilen der Erde, über welche die Sonne ganz oder beinahe lothrecht hinweggeht; doch kann dieses wenigstens von zwei Umständen abhängen: erstens davon, ob der Unterschied zwischen der Tages- und Nachttemperatur gröſser ist als an anderen Orten, denn die Gröſse der Variation kann zum Theil von diesem Unterschied bedingt werden; und zweitens davon, ob der Betrag des zu erwartenden Effects gleich ist in jedem Theil der Scale für einen gleichen Temperatur-Unterschied (2886). Fände sich durch künftige Messungen (2960), daſs das Leitvermögen des Sauerstoffs (2800), beim Sinken durch eine gegebene Zahl von Graden in niederen Temperaturen, stärker wüchse als in höheren (dabei den Effect der Contraction mit eingeschlossen) (2861), so könnten die von der Sonne entfernteren Theile mehr afficirt werden als die unter ihr befindlichen, oder, wenn das Gegentheil der Fall wäre, weniger als sonst zu erwarten stände.

2895. Hinsichtlich der täglichen Variation sind, was die *Richtung* der erdmagnetischen Kraftlinien oder die Inclination oder die Declination der Magnetnadel betrifft, die Grundsätze der zu erwartenden Veränderungen schon angeführt worden (2879), und es bleibt mir nur übrig, diese Erwartungen mit einigen einfachen Fällen der Beobachtung zu vergleichen, so allgemein, um zu zeigen, ob die *Richtung* der Wirkung in Theorie und Erfahrung übereinstimme, und ob der Effect mit einiger Wahrscheinlichkeit auf seine wahre Ursache zurückgeführt worden sey. Zu dem Ende

will ich mich für jetzt ganz auf einen Theil der täglichen Variation beschränken, nämlich auf den Effect der Sonne und Luft zur Mittagszeit.

2896. Ich benutze dazu den letzten Band der vom Obersten Sabine mit Sorgfalt herausgegebenen Beobachtungen [1]), nehme den Fall von Hobarton. Das Observatorium daselbst liegt unter 42° 52', 5 S. Br. u. 147° 27', 5 Oestl. Länge von Greenwich. Die absolute Declination ist 9° 60', 8 und die Inclination 70° 39' S. Um den Stand der Sonne und die Zeit der Maximum- und Minimum-Temperatur beisammen zu haben, habe ich aus den sieben Jahren 1841—1848 die Mitteltemperatur des Januars (Sommers) und des Junis (Winters) für jede zweite Stunde des Tages und der Nacht von pp. LXXXIV u. CVIII auf Taf. III übertragen. Auf dieser bezeichnet die mittlere Zahlenreihe die Stunden, und die Linie nächst darunter die Temperatur von 30° F.; die beiden Curven noch tiefer geben die mittleren stündlichen Temperaturen für Sommer und Winter an; die kurzen Striche zeigen die Richtung der Nadel, östlich oder westlich von ihrer Mittellage, wobei das obere Ende das nördliche ist. Die Lagen um Mittagszeit sind durch voll ausgezogene Striche hervorgehoben, da sie einer näheren Erläuterung bedürfen.

2897. Zu Hobarton steht das Nordende der Magnetnadel am östlichsten um 2 Uhr und am westlichsten um 21 Uhr. Von dieser letzten Stunde geht es aus dem äufsersten West innerhalb 5 Stunden bis zum äufsersten Ost, um 2 Uhr, und gebraucht dann die übrigen 19 Stunden um zum äufsersten West zurückzukehren. Die gröfste Abweichung nach Ost und West erreicht es im Sommer um 2 und 21 Uhr, und im Winter um 3 und 22 Uhr. Die verticalen Lagen zeigen, zu welchen Stunden die Declination Null ist und mit Sabine's Nullpunkt übereinkommt. Von 21 bis 2 Uhr geht die Nadel von einem Extrem ihrer Variation zum andern; das nördliche oder obere Ende derselben wan-

1) *Magnetical and Meteorological Observations, Hobarton, Vol. I.* 1850.

Digitized by Google

dert in umgekehrter Richtung wie die Sonne, so daſs beide nahe um Mittag oder etwas früher den Meridian in entgegengesetzten Richtungen schneiden. Um 2 Uhr steht die Nadel still und nun kehrt sie nach Westen zurück, der Sonne folgend. Es ist wohl passend zu bemerken, daſs das Nordende der Nadel, dessen Bewegung so eben beschrieben wurde, das dem Aequator zugewandte Ende und auch das obere Ende der Neigungsnadel zu Hobarton ist. Diese Bemerkung wird jetzt gröſsere Bedeutung erlangen.

2898. Die auf die Nadel wirkende Ursache ist also zur Zeit der Anwesenheit der Sonne kräftiger und concentrirter, als zur Zeit ihrer Abwesenheit. Hier ist folglich die Zeit des Effects in Einklang mit der Zeit, wo die Sonne den stärksten Einfluſs ausüben kann auf diejenigen magnetischen Zustände der Atmosphäre, welche für jetzt als die beherrschenden dieses Effects vorausgesetzt werden.

2899. Aus Fig. 1. Taf. III. erhellt, daſs die Zeit der Maximum-Temperatur nicht zusammenfällt mit dem Stande der Sonne im Meridian, sondern, im Sommer wie im Winter, 2 Stunden später eintritt. Allein was den Einfluſs der Temperatur auf die magnetische Beschaffenheit der Atmosphäre und durch sie auf die Nadel betrifft, so ist es nicht die örtliche Temperatur, welche vorausgesetztermaſsen auf die Nadel wirkt, sondern diejenige, welche ungeheure Luftmassen sowohl darüber als darunter afficirt, und über welche uns die örtliche Temperatur, wie wichtig sie auch seyn mag, wenn wir sie erst gehörig auslegen können, wenig oder gar keine Auskunft giebt. Doch giebt es einige Punkte, zu welcher die Temperatur eine directere Beziehung hat. So ist der Betrag der Temperatur-Variation im Sommer doppelt so groſs als im Winter und in eben dem Verhältniſs wächst der Betrag der Declinationsveränderung (2890). Die Minimumtemperatur tritt im Winter später als im Sommer ein, und die äuſserste westliche Declination erfolgt zur letzten Jahreszeit auch später.

2900. Die veränderliche *Richtung* der erdmagnetischen Linien erkennen wir durch Beobachtungen in zwei

Digitized by Google

Ebenen, einer horizontalen, auf welche die Declination bezogen wird, und einer verticalen, durch die mittlere Declinationslinie gelegten, welche uns die Inclinationsbeobachtungen liefert. Die Richtung der Kraftlinie, bezogen auf diese Ebene, könnte sich so verändern, dafs die Inclination entweder zu- oder abnähme, und sie nimmt in derselben Stunde örtlicher Zeit an einigen Orten zu, in welcher sie an anderen abnimmt. So wächst sie zu Greenwich während sie zu St. Helena, welches fast unter demselben Meridian liegt, abnimmt. Zu Hobarton verändert sie sich rasch an den östlichen und westlichen Extremen der Variation, d. h. um 2 und 21 Uhr. Vom Mittag nimmt sie rasch ab bis etwa 3 Uhr, bleibt dann nahe dasselbe im Sommer, wenn die Variation am gröfsten ist, bis 18 oder 19 Uhr, und wächst von dieser Zeit bis etwa 22 Uhr, von wo ab bis Mittag sie fast ein Maximum ist. Daraus erhellt, dafs die Inclination insgemein am gröfsten ist, während das Nordende der Nadel zwischen 21 und 2 Uhr rasch von Westen nach Osten wandert, und am kleinsten, während der übrigen oder längeren Hälfte der Wanderung. Der später zu betrachtende Nacht-Effect wird diefs Verhalten zwar theilweis unterbrechen, aber im Allgemeinen tritt es immer hervor.

2901. Alles dieses wird durch Fig. 25. Taf. 1. (2909) im Rohen vorgestellt. Darin bezeichnet *OW* den Stand der Sonne während ihres täglichen Ganges zwischen den Tropen um 21^h, 22^h, etc., und *e* den Weg, den zu Hobarton das nördliche oder obere Ende der frei aufgehängten, also Declination und Inclination zugleich, d. h. die volle Richtung anzeigenden Nadel beschreibt. Sieht man auf eine solche Nadel hinab, so wird ihr oberes Ende den durch den Pfeil bezeichneten Gang beschreiben, und ihre Lage zu einer gegebenen Stunde wird hinlänglich durch die Zuglinien angegeben.

2902. Diese Beziehung zwischen der Bewegung der Nadel und der der Sonne ist längst bekannt gewesen; sie ist für meine Hypothese von der physischen Ursache dieser Variationen von grofser Bedeutung. Rücksichtlich des von

mir betrachteten Theils der Wirkung ist es, wie wenn ein Magnetpol, von gleicher Natur mit dem obern Ende der Nadel zu Hobarton, mit der Sonne aufginge und zunächst dieses Ende nach Westen triebe. Gegen 19^h nimmt die Tendenz nach Westen ab, aber die Tendenz nach Süden wächst. Um 21^h ist die Zunahme der Sonnenkraft, die nicht direct von der Sonne, sondern von einer Region der Atmosphäre unterhalb derselben ausgeht, nicht hinreichend, eine Compensation für ihre ungünstigere Lage zu bewirken; die Nadel wird in ihrer Declination durch die Kraft der Erde zurückgebracht und sie geht dann ostwärts; allein die südliche Bewegung oder die Inclination nimmt noch zu; um 24^h oder Mittag ist die Sonne gegen östliche und westliche Declination indifferent, aber kräftig in ihrer südlichen Wirkung, und sie macht dann oder bald hernach die Inclination zum Maximum. So wie nun die Sonne westlich von der Nadel geht, wächst eine Weile ihr Vermögen, den hinter ihr befindlichen Pol ostwärts zu treiben, während das Vermögen zur Erzeugung von Inclination abnimmt, bis um 2 oder 3 Uhr die Kraft der Erde wieder das Uebergewicht erlangt so wie die Kraft der Sonne wegen der Entfernung abnimmt; die Nadel kehrt dann zu ihrer kleinsten Inclination und mittleren Declination (*towards its least dip and mean inclination*) zurück.

2903. Alles dieses läſst sich experimentell nachahmen, indem man einen Magnetpol nördlich von der Neigungsnadel so herumführt, daſs er den Ort der von der Sonne erwärmten Luft zu Hobarton vorstellt, vorausgesetzt, daſs der Pol von gleicher Art sey wie der Nord- oder obere Pol der Nadel. Bereits (2877. 2863) habe ich gesagt, daſs wenn eine Luftportion im Magnetfelde erwärmt wird, sie ihr magnetisches Leitvermögen verliert, und wenn sie mit einer weniger erwärmten Luft zusammenkommt die Linien ablenkt und den Zustand annimmt, welchen ich als diamagnetische Leitungspolarität unterschieden habe; dann die wahre Polarität oder vielmehr die wahre Inflection der Kraftlinien darbietend, welche die Nadel afficiren würden, wie

Digitized by Google

sie afficirt wird. So wie die Sonne aufgeht und nordwärts von solchen Ort wie Hobarton geht, wird unter ihrem wachsenden Einfluſs die Atmosphäre immer wärmer und ausgedehnter, und, bezogen auf die Luftkugeln-Modelle (2864. 2877) ist es, wie wenn eine solche warme Masse mit der Sonne durch alle Regionen des Aequators ginge, sich dabei auch nord- und südwärts von demselben ausdehnte, und, Hobarton in ihren Einfluſs einschlieſsend, die daselbst beobachteten Effecte hervorbrächte.

2904. Diese Ansicht liefert einen Grund, warum die Nadel, während die Sonne durch ihren Meridian geht, in so kurzer Zeit von West nach Ost zurückkehrt, und so lange Zeit zu dem Gange von Ost nach Westen gebraucht, so wie der Einfluſs der Sonne langsam abnimmt und dann während des übrigen Theils der Tagreise langsam wieder erneut wird, abgesehen dabei für jetzt von den paramagnetischen Effecten der Kälte.

2905. Ich will nun die tägliche Variation zu Toronto betrachten, wie sie uns in dem ebenfalls aus den Händen des Obersten Sabine hervorgegangenen Bande von magnetischen Beobachtungen [1]) und in späteren bis 1848 reichenden Nachträgen, die ich demselben verdanke, dargeboten wird. Das Observatorium liegt unter 43° 39′ 35″ N. und 79° 21′ 30″ W. Die absolute Declination daselbst ist 1° 21′ 3″ W. und die mittlere oder absolute Inclination 75° 15′ N.; in Bezug auf Hobarton liegt es auf der andern Seite des Aequators und beinahe an der andern Seite der Welt. Das Resultat für die Monate Juni und December ist auf Taf. III. Fig. 2. graphisch dargestellt, entsprechend mit dem von Hobarton (2896), unter Anwendung der Toronto-Zeit für die Stunden.

2906. Das Nordende der Nadel, das wir in der Regel bei der Declination ins Auge fassen, nimmt zu Toronto während der unmittelbaren Sonnenwirkung folgenden Lauf. Nachdem es sich von 16^h an ostwärts bewegt hat, erreicht es darin um 20^h sein Maximum, kehrt dann um und erreicht

1) *Magnetical and Meteorological Observations. Toronto* 1840, 41, 42.

Digitized by Google

in 6 Stunden sein westliches Extrem, worauf es sich wieder ostwärts, von der Sonne ab bewegt. Verwandeln wir dieſs aber in die Bewegung des aequatorialen Endes der Nadel, denn das ist das obere Ende der Nadel, wenn sie frei ist, und es interessirt uns am meisten bei dem Vergleiche mit Hobarton, so sieht man, daſs dieses Ende um 19^h oder 20^h am westlichsten steht, von da an rasch ostwärts geht, den ganzen Bereich der Variation innerhalb 6 Stunden durchwandert, also um 2^h das östliche Extrem erreicht und nun umkehrt und der Sonne folgt.

2907. Bei diesen Resultaten möchte ich wiederholen, was ich zur Erläuterung der Hobertoner Erscheinungen gesagt habe, aber Kürze halber will ich bloſs auf sie verweisen. Wie dort ist der Betrag der Veränderung bei der Declination im Sommer doppelt so groſs wie im Winter. Der Temperatur-Unterschied ist drei Mal gröſser. Die Extreme der Declination nach Westen und Osten fallen im Sommer wie im Winter auf 20^h und 2^h; allein die Zeit des Maximums und Minimums der Kälte ist, wie zuvor gesagt, in beiden Jahreszeiten verschieden, denn die erstere fällt im Sommer auf 4^h und im Winter auf 2^h, die letztere dagegen im Sommer auf 16^h und im Winter auf 20^h. Dieſs ist jedoch eine Variation mit Consistenz (*variation with consistency*); denn man wird bei augenblicklicher Ansicht ersehen, daſs im Winter das Maximum der Wärme in der einen Richtung gegen die Zeit der kräftigsten Wirkung vorrückt, und das Minimum in der andern. Der Durchgang der Sonne durch den Meridian und die Periode der schnellsten Bewegung der Nadel von West nach Ost fallen also noch zusammen.

2908. Das andere Element der Richtung ist die Inclination. Ihre Veränderung ist sehr klein, aber doch vorhanden. Das hauptsächlichste Maximum der Neigung fällt auf 22^h, das äuſserste Minimum auf 4^h.

2909. So können wiederum alle Effecte, wie zu Hobarton, allgemein durch eine Ellipse vorgestellt werden (Fig. 25. Taf. I.) und ich könnte das dort Gesagte wieder-

Digitized by Google

holen, wenn ich Toronto statt Hobarton, und Nord statt Süd setzte (2901). So wie die Sonne in ihrem Laufe aus Osten zwischen die beiden Punkte kommt, treibt sie, durch die unter ihr veränderte Atmosphäre, die oberen Enden ihrer Nadeln vor sich hin und auswärts der Linie ihres Ganges, wie wenn sie gegen den Hobarton-Magnet ein Nordpol, und gegen den Toronto-Magnet ein Südpol wäre. Um 22^h erlaubt die Kraft der Erde und die aus der Lage der Sonne entspringende Wirkung der Atmosphäre eine Rückkehr nach Ost, obwohl die Inclination noch eine Zeit lang wächst (2902); beide (Nadeln) schwingen rasch herum von West nach Ost, so wie sie (die Sonne) durch den Meridian geht, und nachdem sie (wohl die Declinationsnadel *P*) das Maximum ihrer östlichen Lage erreicht hat, folgt sie ihr (der Sonne) unter dem Einfluſs der Erdkraft, der beim Rückzug der Sonne immer weniger entgegen gewirkt wird. Die Aehnlichkeit zwischen Hobarton und Toronto ist so auffallend, daſs schon Obrist Sabine sie besonders unterschieden und beschrieben [1]), auch gezeigt hat, daſs wenn man für beide Orte die Richtung der Bewegung durch Curven darstellt, diese beiden Curven, wenn man sie aufeinander legt, fast zusammen fallen, mit dem einzigen Unterschied, daſs die Veränderungen zu Hobarton denen zu Toronto um eine Stunde örtlicher Zeit oder mehr vorausgehen.

2910. Wir können diesen Tages-Effect auf zwei solche Nadeln wie die zu Hobarton und Toronto nicht experimentell durch einen Magnetpol repräsentiren, wohl aber können wir es für jede einzeln mit verschiedenen Polen. Wir sehen indeſs zugleich aus der Hypothese, warum die Sonne in dieser Weise wirkt (2877) und wie es geschieht, daſs die Region der influencirten Atmosphäre, welche sie auf ihrer Tagesreise um die Erde begleitet, den einen Effect in nördlicher Breite und den andern in südlicher ausübt (2903). Auch die Gründe für die kurze Zeit der Tagesreise und für die lange Periode der nächtlichen Rückkehr (2904) sind einleuchtend. Das Vorkommen von Störun-

1) *Hobarton Magnetical Observations* 1850. *p. XXXV*.

Digitized by Google

gen oder secundären Kraftwellen zur Nachtzeit und die Bedingung sowohl der Hauptvariation als der untergeordneten Oscillationen im Sommer und Winter sollen späterhin betrachtet werden.

2911. Greenwich. — Die folgenden Resultate sind genommen aus dem Bande der Greenwicher Beobachtungen für 1847. Die Sternwarte liegt unter 51° 31′ N., in der Länge fast um 80° von Toronto entfernt, also dieser Station und auch der zu Hobarton hinreichend entgegengesetzt. Die mittlere Declination ist 22° 51′ 18″ W. und die mittlere Inclination 69° N. Da es das obere Ende der Nadel ist, welches wir zu dem Zweck eines leichten Vergleichs mit der beobachteten Tageswirkung der Sonne zu betrachten haben (2906), so will ich diesen Theil seines Laufs beschreiben, in Greenwicher Zeit. Nachdem es sich vor 19^h und 20^h westwärts bewegt hat, kehrt es nach Ost zurück, und in 6 Stunden, oder um 1^h oder 2^h hat es seine gröſste Sonnenschwingung vollendet; dann kehrt es nach Westen zurück und folgt der Sonne. Die verticale Kraft ist zwischen 3 und 4^h am gröſsten und zwischen 11 und 13^h am kleinsten. Das Südende der Nadel ist deshalb zu der ersteren Zeit mehr aufgerichtet als zur letzteren; und da die letztere die längere Rückkehr des Ganges von Ost nach West umfaſst, auch die Nachtstunden einschlieſst, so sehen wir, daſs das obere Ende der Nadel während seiner Tagesreise eine unregelmäſsig geschlossene Curve beschreibt, welche durch die Ellipse für Toronto Taf. I. Fig. 25. (2909) im Allgemeinen repräsentirt werden kann; es geht in den Nachtstunden langsam von Ost nach West, nähert sich zugleich dem Aequator und kehrt dann mit weit gröſserer Schnelligkeit von West nach Ost zurück, dabei sich in gröſserem Abstande vom Aequator und näher dem Pole haltend.

2912. Washington (Vereinigte Staaten). — Breite 38° 54′ N., Länge 77° 2′ W., mittlere Abweichung 1° 25′ W., mittlere Neigung 71° 20′ N. Das südliche oder obere Ende der Nadel ist des Morgens, um 20 oder 22^h, am Westlichsten, und um 2^h am Oestlichsten; dann kehrt es langsam

Digitized by Google

nach Westen zurück, verhält sich des Nachts wie an den vorhergehenden Orten und erlangt um 20 oder 22^h wieder den westlichsten Stand. Dieſs ist, in Bezug auf den Gang der Sonne, genau dieselbe Declinations-Bewegung wie an den früheren Orten. Wie sich die Inclination verändert, weiſs ich nicht, allein der Theorie nach wäre zu schlieſsen, daſs sie zwischen 22 und 2^h am gröſsten, und am Abend, sowie in der Nacht, am kleinsten ist. Der Gesammtbetrag der Declinationsveränderung ist, wie zuvor, im Sommer am gröſsten, im Juli 9′ 87″ und im December 4′. Bei der Erdtemperatur fällt der gröſste Unterschied auch in den Juli, beträgt dann nahe 20° F., wogegen er im December nur 10° F. beträgt. Die kürzeste Periode zwischen den extremen Temperaturen, welche daher den schnellsten Temperaturwechsel einschlieſst, geht von 16 oder 18^h bis 2^h, und schlieſst folglich den Mittag ein. Alle diese Umstände vereinigen sich, die gröſste magnetische Wirkung hervorzubringen, und diese erfolgt in der von unserer Hypothese angezeigten Richtung.

2913. Athabasca-See. — Breite 53° 41 N., Länge 111° 18′ W., mittlere Abweichung 28° O. Die Beobachtungen umfassen nur 5 Monate; allein da sie wegen der hohen nördlichen Lage des Orts für künftige Betrachtungen wichtig seyn können, so will ich hier die Resultate angeben. Das obere Ende der Nadel ist um 17 oder 18^h am Westlichsten und um 1 oder 2^h am Oestlichsten, so daſs, was die Declination betrifft, die Wirkung der Sonne und der Atmosphäre sich wie in den früheren Fällen verhält. Der Betrag der Declinationsveränderung ist sehr groſs, im October 21′,32, im November 10′,8, im December 9′,78, im Januar 16′,29 und im Februar 14′,87.

2914. Fort Simpson. — Breite 61° 52′ N., Länge 121° 30′ W., mittlere Declination 38° O. Diese Beobachtungen umfassen nur 2 Monate, nämlich April und Mai 1844. Das obere oder südliche Ende der Nadel war um 19^h am Westlichsten und um 2^h am Oestlichsten, also vollkommen übereinstimmend mit den vorhergehenden Beobachtungen

und Folgerungen. Der Betrag der Declinationsveränderung war sehr groſs, 36′, 26 im April und 32′ im Mai.

2915. St. Petersburg. — Breite 59° 57′ N., Länge 30° 15′ O. von Greenwich, mittlere Abweichung 6° 10′ W., mittlere Neigung 70° 30′ N. Die Beobachtungen sind das Mittel von 6 Jahren und zeigen, daſs das obere Ende der Nadel, in Bezug auf Mittag, um 19 und 20^h am Westlichsten ist in den Monaten März bis August, und daſs es für die übrigen Monate um dieselben Stunden eine westliche Lage giebt. Die östlichste Lage fällt in allen Monaten, auf etwa $1\frac{1}{2}$ Uhr, so daſs die Sonnenwirkung beim Durchgang durch die Mittagsperiode wie in den früheren Fällen erfolgt. Die Declinationsveränderung ist am gröſsten im Juni, 11′, 52, und schrumpft im Winter auf 1′, 77 zusammen. Der Theorie nach steht zu erwarten, daſs die Neigung bei Tage wachse und bei Nacht abnehme.

2916. Diese Fälle, welche zu einer ersten und vorläufigen Prüfung der Hypothese ausgewählt wurden, da sie die Haupt-Umstände der täglichen Variation und der Sonnenwirkung einschlieſsen, sprechen also übereinstimmend, so weit sie reichen, zu Gunsten der Hypothese, die ich für ihre Ursache aufgestellt habe; in Betreff der Sonnenwirkung habe ich bis jetzt noch keinen Fall von nur scheinbarem Widerspruch aufgefunden. Sie unterstützen sehr, sich eine genaue Vorstellung von der Art zu bilden, in welcher der Einfluſs der Sonne und der Luft muthmaſslich wirkt, nicht allein in ähnlichen Fällen, sondern auch in Betreff anderer Folgerungen, d. h. in allen, welche beim atmosphärischen Magnetismus in Betracht kommen. Ich will daher die Prinzipien, welche sie der Hypothese nach regieren, specieller angeben, in der Hoffnung, daſs ich so glücklich seyn werde, die *wahre physische Ursache* der fraglichen magnetischen Variationen nach und nach entwickeln zu helfen.

2917. Der bloſse, von Materie freie Raum gestattet der magnetischen Kraft den Durchgang (2787. 2851). Para- und diamagnetische Körper erhöhen oder schwächen diese Durchgänglichkeit (2789). Diesen Einfluſs habe ich einst-

Digitized by Google

weilen mit dem Worte: magnetisches Leitungsvermögen bezeichnet, und ich glaube hinreichende erste experimentelle Beweise von dem Daseyn dieses Vermögens und dessen störende Wirkungen auf die Magnetkraftlinien gegeben zu haben (2843). Die Atmosphäre ist durch ihren Sauerstoffgehalt ein paramagnetisches Medium (2861. 2863) und ihr Leitungsvermögen wird durch Temperaturerhöhung (2856) und durch Verdünnung (2782. 2783) sehr geschwächt, wie durch den Versuch genügend bewiesen wurde. Die Sonne ist ein Agens, welches die Atmosphäre zugleich erwärmt und verdünnt; und bei ihrem täglichen Lauf muſs im Allgemeinen der Ort der gröſsten Wärme und Verdünnung unter ihr liegen. Unregelmäſsigkeiten in der Beschaffenheit der Erdoberfläche und andere Ursachen bewirken örtliche Abweichungen davon, allein wahrscheinlich verschwinden sie theilweis, wenn nicht gänzlich, in den oberen Regionen der Atmosphäre.

2918. Nehmen wir an, *die Luft unter der Sonne* werde am meisten magnetisch verändert, und beschränken uns auf eine Stelle, wo die Sonne vertical ist, um den Zustand der Atmosphäre dort und an anderen Theilen in Bezug auf sie zu betrachten, so wird die Voraussetzung einer Luftkugel über der Stelle natürlich keine passende Anwendung finden (2877). Wir wollen zunächst annehmen, die Sonne sey weit weg und die Atmosphäre in einem mittleren Temperaturzustand; lassen wir dann die Sonne im Meridian eines gegebenen Orts stehen, so haben wir es zu thun mit dem *Grade der Veränderung* in Temperatur und Ausdehnung der Luft unter und rings um den Ort der Sonne und mit der Weise, wie sie entsteht und vergeht. In Bezug zur Oberfläche der Erde wird diese Veränderung irgendwo unter der Sonne am gröſsten seyn, und ringsum in jeder Richtung abnehmen, bis sie, in directer Wirkung, an dem Theile oder Kreise der Erde, wo die Sonnenstrahlen tangential sind, fast Null wird. Hinsichtlich der senkrechten Richtung ist es noch die Frage, ob die Wirkung an der Oberfläche am gröſsten sey und nach oben abnehme.

Digitized by Google

Was die Atmosphäre betrifft, so muſs sie natürlich mit ihr enden, aber hinsichtlich des Raumes selbst (2851) kann noch ein Bedenken entstehen. Der Einfluſs der Sonne auf die entgegengesetzte Halbkugel erzeugt direct keine Störung, wohl aber indirect durch das Sinken der Lufttemperatur von dem Grade an, auf welchem sie durch die Sonne, während sie über dem Horizonte war, gebracht ward. Diese Veränderung muſs träger, unregelmäſsiger und durch örtliche und andere Umstände gestörter geschehen als die andere durch den directen Einfluſs der Sonne hervorgebrachte, und sie veranlaſst, der Hypothese nach, das zweite Maximum oder Minimum oder andere Perioden, welche die Nadel in den Nachtstunden zeigt.

2919. Die von einem Magnet ausgehenden Kraftlinien sind gleichsam an ihren Wurzeln befestigt (*located and fixed by their roots*), in einer Weise, welche von Denen, die über den Gegegenstand gearbeitet haben, experimentell wohl aufgeklärt (*understood*) ist. In derselben Weise werden die Linien, welche von der Erde, je nach der Gröſse der Neigung, mehr oder weniger steil (*suddenly*) ausgehen, unten durch eine Kraft festgehalten (*held beneath by a force of location*), und, weil die Wirkung der Erde in Bezug auf die der Atmosphäre unverändert bleibt, werden sie, während die letztere sich verändert, unten mehr oder weniger gegen Veränderungen geschützt. Diese Befestigung in der Erde ist eine Haupt-Ursache gewisser Eigenthümlichkeiten bei den atmosphärischen Erscheinungen, wie wir sie beobachten; und sie bewirkt jene Drehung der Kraftlinie um die mittlere Lage, welche wir schon während der Sonnen-Schwingung betrachtet haben, und wiederum bei der Wirkung der Luft antreffen. Diese Befestigung der Kraftlinien an ihren unteren Theilen findet sich an jedem Ort, wo irgend eine Neigung vorhanden ist, und giebt für jeden den Convergenzpunkt, um welchen die Bewegung des oberen Endes der Nadel stattfindet (2909. 2932).

2920. So ruht denn die Atmosphäre auf der Erde, unter dem Einfluſs der Sonne, am meisten unterhalb dieser ver-

Digitized by Google

ändert. Sie hat das Vermögen erlangt, die Magnetkraftlinien zu afficiren in anderer Weise als sie dieselben in Abwesenheit der Sonne afficirte. Sie ist zu einer groſsen magnetischen Linse geworden, welche diese Linien zu brechen vermag, und zwar in einer Weise, die folgender Art zu seyn scheint. Alle durch diese erwärmte und ausgedehnte Luft gehenden Linien werden, weil dieselbe ein schlechterer magnetischer Leiter als die sie umgebende nicht so stark erwärmte Luft ist (2861. 2862), sich nach auswärts biegen, (2807), und die erwärmte Luftmasse wird als Ganzes den Zustand von diamagnetischer Polarität annehmen. Wenn man also, der Einfachheit wegen, die magnetischen Pole der Erde mit den geographischen zusammenfallen läſst und Fig, 26. Taf. I. einen durch sie und die Sonne gelegten Durchschnitt vorstellt, so werden *N* und *S* die Magnetpole seyn, und die verschiedenen den Umfang des Kreises schneidenden Curven werden hinreichend den Lauf der Magnetlinien an der Erdoberfläche vorstellen, sobald *H* die Sonne ist und *a* der gerade unter ihr liegende Punkt, welcher auch mit dem magnetischen Aequator zusammenfällt. Diese Zeichnung erläutert auch den hypothetischen Effect auf die Inclination der Nadel.

2921. Betrachten wir zunächst den Punkt *a* und nehmen noch an, das Maximum der Veränderung in der Luft sey immer an der Erdoberfläche, so werden wir finden, daſs dort die Kraftlinien sich auswärts biegen (*open out*), einigermaſsen ihre parallele und concentrische Relation behaltend. Eine Magnetnadel also, die sich frei in jeder Richtung bewegen kann und deshalb ihre Lage *in* der Kraftlinie annimmt, wird an diesem Ort nicht in ihrer Lage geändert werden. Vielleicht müſste sie eine Abnahme der durch diesen Ort gehenden Magnetkraft anzeigen; allein aus dem zuvor (2868) angeführten Grunde schlieſse ich, daſs sie eine gröſsere Intensität anzeigen würde, indem die erhöhte Kraft, welche durch die Abnahme des Leitungsvermögens der Luft an diesem Ort auf sie geworfen wird, sie veranlaſst als eine stärkere Nadel zu wirken.

2922.

2922. Geben wir zu einem Punkt *b*, so haben daselbst die Kraftlinien schon eine Neigung. Sie erleiden hier denselben physischen Effect wie zuvor d. h. die Portionen in der Atmosphäre sind auswärts gebogen; allein weder hier noch in dem früheren Fall werden sie fortwährend dieselbe Krümmung haben wie zuvor, denn zuwärts und in der Erde, wo sie ihren Ursprung nehmen, werden sie durch die unveränderliche Kraft der Erde (2919) mehr oder weniger gehindert sich zu verändern, während sie an mehr nach vorne liegenden Theilen, wie bei *c*, in Portionen der Atmosphäre eintreten, welche den intensivsten Linien der Sonnenwirkung, *HC*, näher sind, wahrscheinlich auch in die Region der intensivsten Wirkung und auch in den Weltraum, Umstände, welche bewirken, daſs die Linien sich mehr verschieben und durch die Spannung der in der Luft veränderten Theile sich mehr zu trennen suchen als *in* der Erde geschehen kann (2848). So werden die Magnetkraftlinien bei *b* sich nicht parallel mit sich selbst bewegen, sondern, weil sie im normalen Zustand eine gewisse Neigung gegen den Horizont haben, stärker geneigt werden d. h. durch die Anwesenheit der Sonne eine stärkere Neigung bekommen. Diese Thatsache ergiebt sich aus der Nadel, wenn sie durch die Bewegung ihres oberen Endes zu Hobarton, Toronto oder sonstwo die Lage der Linie in Bezug auf Inclination anzeigt (2908); denn es ist klar, daſs was auch an der einen Seite des Sonnenorts und des magnetischen Aequators geschehen möge, auch an der andern geschieht, sobald beide, wie wir annehmen (2920), zusammenfallen.

2923. Leichter läſst sich die Sache fassen, wenn man sagt, die Wirkung der Sonne gehe dahin, die Magnetcurven, über den aequatorialen und benachbarten Theilen, aus ihrer normalen Lage zu heben, und dabei die nördliche und südliche Neigung zugleich zu afficiren und zu vergröſsern.

2924. An dem Orte *d* müssen gleiche Effecte auf die Inclination bewirkt werden, und theoretisch genommen in

Digitized by Google

derselben Richtung selbst bei *N* und *S*. An dem Punkt *a* wird die Inclination voraussetzlich gar nicht geändert; so wie man aber nach Norden oder Süden geht, treten die Aenderungen auf und nehmen zu. Es ist nicht wahrscheinlich, daſs das Maximum der Veränderung bei *N* oder *S* stattfinden werde, vielmehr muſs die Breite, wo es eintritt, abhängen von den vielen vereinten Umständen, die bei einer Kugel vorkommen, um welche eine magnetische Linse, wie ich dieselbe zu beschreiben versuchte, beständig rotirt.

2925. Statt anzunehmen, die Sonne sey in *H*, wollen wir voraussetzen, wir sähen senkrecht auf die Zeichnung und nach Osten, die Sonne käme von Osten, ginge über unser Haupt und brächte diejenige Beschaffenheit unserer Atmosphäre mit, welche die Ursache der Veränderung ist. So wie sie dieses thut, heben sich alle magnetischen Curven, und die Inclination nimmt zu, bei *b*, *d* und überall, wo zuvor eine vorhanden war, zu beiden Seiten von *a* in entgegengesetzten Richtungen. Dieſs dauert so lange bis die Sonne im Zenit ist; so wie sie dann fortgeht und hinter uns niedersinkt, ziehen sich die Linien wieder zusammen und die Neigung nimmt ab zu dem, was sie früher war. Die Neigung erreicht ihr Maximum, wenn die Sonne dem Zenit nahe ist, und ihr Minimum, wenn sie ganz fort ist.

2926. Wenn sich aber die Resultante der Kraft über der Atmosphäre befände (2937), was bei weitem das wahrscheinlichste ist, so würden die Resultate modificirt werden, da es die gesammte Atmosphäre ist, die durch Wärme diamagnetisch wirkt; denn wenn über *a* die Kraftlinien *herabgedrückt* würden und daselbst die Inclination abnähme, möchte sie in *b* zur Zeit nicht afficirt werden, während sie in höheren Breiten zunähme, je nachdem die Kraftlinie von der Resultante in der Atmosphäre, wo sie auch seyn möchte, auswärts oder einwärts des Winkels fiele, welchen die Neigung an einen gegebenen Ort mit dem Horizonte macht. St. Helena, das Cap und Hobarton liefern Beispiele von diesen drei Fällen.

Digitized by Google

2927. Zur selben Zeit würde die totale Kraft eine Veränderung in ihrem Betrage erleiden; die durch einen gegebenen Raum gehende würde am kleinsten seyn, wenn die Sonne im Zenit stände, und am gröſsten, wenn sie fort wäre (2863). Die gesammte Veränderung würde bei *a* am gröſsten seyn, und von da nach Norden und Süden abnehmen. Die täglichen Variationen der Inclination sind bis jetzt noch so unvollkommen bekannt, daſs wir nicht zu sagen vermögen, wie weit sie mit diesen Erwartungen übereinstimmen; allein so weit die Beobachtungen reichen, stimmen sie mit der Theorie.

2928. Wenn die Sonne, statt über dem Aequator zu stehen, über einem der Wendekreise steht, und zwar lothrecht, z. B. über *b*, so werden die Effecte modificirt seyn. Die Resultante noch wie oben angenommen, steht zu erwarten, daſs die zuvor nicht afficirten Kraftlinien herabsinken und die Inclination schwächen, während andere Linien in höheren Breiten, welche zuvor in Neigung anwuchsen, jetzt nur wenig afficirt werden, und andere Linien in noch höheren Breiten ihre Neigung vergröſsern. Auf der andern Seite des Aequators würden die Linien die Tendenz haben, die Neigung zu vergröſsern.

2929. Schreiten wir nun zu demjenigen Theil der erwarteten Veränderung in der Lage der freien Nadel, welcher die Variationen der Declinationen bewirkt; sey *e r* (Fig. 27. Taf. I.) der Gang der Sonne am Aequator und *t c*, *t' c'* derselbe unter den Wendekreisen, ferner *mr* ein magnetischer Meridian, und *aa'*, *ii'*, *oo'* Orte von gleicher nördlicher und südlicher Inclination zu beiden Seiten des Aequators. Die in Fig. 26 von vorn gesehenen Curven sind nun in der Ebene des magnetischen Meridians, können aber als zu beiden Seiten des Aequators aufsteigend und über ihm zusammenflieſsend angesehen werden. Befände sich die Luft an allen Seiten in ihrem mittleren Zustand, und wäre die Sonne ganz abwesend, so würden diese Curven in der verticalen Ebene *mr* liegen, oder wenn die Sonne am Mittage so stände, daſs die Resultante der erwärmten und

veränderten Atmosphäre im Meridian *mr* läge, würden wohl Inclinationswirkungen eintreten (2922), diese Curven aber doch in derselben Vertical-Ebene bleiben. Befände sich aber diese Resultante östlich oder westlich von *mr*, so würden Variationen der Declination entstehen. Denn gesetzt die Sonne rücke aus Osten oder *r* vor, so würden, weil sie der Luft einen diamagnetischen Zustand ertheilt, die Kraftlinien sich zu expandiren suchen (2877) und deshalb westwärts gehen, wie es in dem Meridian *ns* vorgestellt ist; die daselbst bewirkte Ablenkung würde am gröſsten an der Erdoberfläche seyn, weil dort die Curven, in die Erde eindringend, festgehalten werden in ihrer normalen Lage (2919). So wie die erwärmte Luft anlangt, würde die westliche Ablenkung wachsen bis zu gewissem Grade, und dann bis Null abnehmen, wenn die Resultante im Meridian wäre; allein so wie die letztere darüber fortginge, würde die Ablenkung an der Ostseite von *ns* wachsen, und, nach Erreichung eines Maximums, abnehmen, und aufhören, so wie die warme Luft sich zurückzöge.

2930. Läge die Bahn der Sonne auf dem nördlichen Wendekreis *tc* und folglich die Resultante in der Atmosphäre nördlich von der Station *a* oder *i*, so würde dieſs zwar in der Gröſse der Declinationsveränderung einen Unterschied machen, aber nicht in ihrer Richtung, denn die Curven *aa'* und *ii'* würden bei Herankunft der Sonne noch nach Westen ausbiegen, und würden im Meridian liegen, wenn auch die Resultante sich hier befände. Der Effect würde in *i* gröſser als in *i'* seyn, allein die Entgegengesetzheit der Neigung rücksichtlich des Orts der Sonne würde die Richtung der Declinationsveränderung nicht ändern.

2931. Eine kalte Luftregion, die, wie bei hereinbrechender Nacht, auf die Magnetkraftlinien der Erde wirkte, würde, vermöge ihres paramagnetischen Charakters (2865) entsprechende Effecte sowohl auf die Inclination als auf die Declination ausüben, aber in entgegengesetzter Richtung.

2932. Die Kraftlinien, welche überall, wo es eine In-

Digitized by Google

clination giebt, von der Erdoberfläche ausgehen, werden, zufolge der Hypothese, unter dem täglichen Einfluſs der Sonne, mit ihren aufsteigenden Theilen eine geschlossene Curve oder einen unregelmäſsigen Kegel bilden, dessen Scheitel unten liegt. Als Thatsache ist dieſs sehr wohl bekannt, allein die Uebereinstimmung mit der Hypothese ist wichtig für die letztere. Die freie Nadel wird ihre mittlere Lage in der Axe dieser Curve oder dieses Kegels haben, und ihre Rückkehr, in Declination oder Inclination, zu dem Mittel ist eine wichtige Anzeige von der Gröſse und Lage der veränderlichen Kräfte, welche zu solchen Zeiten auf sie einwirken.

2933. Meine Hypothese nimmt durchaus nicht an, daſs die erwärmte oder erkaltete Luft magnetisch werde, und nach Art eines Stücks Eisen direct auf die Magnetnadel wirke, entweder polar oder inductiv. Es wird für den Sauerstoff der Luft keine andere Polarität angenommen als die Leitungspolarität (2822. 2835), als Folge einer schwachen Aenderung in der Richtung der Kraftlinien. Die Veränderung in dem magnetischen Leitvermögen bewirkt diese Ablenkung der Linien, gerade wie ein schlechter Wärmeleiter bei Einführung in ein besser leitendes Mittel die vorher gleichmäſsige Fortpflanzung der Wärme stört, und derjenigen, welche geleitet wird, eine neue Richtung giebt; oder wie bei der statischen Elektricität ein Körper von mehr oder weniger specifischer Inductiv-Capacität, bei Einführung in ein gleichförmiges Medium, die zuvor gleichmäſsig durch dasselbe gegangenen Kraftlinien stört.

2934. Die bloſse Wirkung der Atmosphäre geht dahin, die Kraftlinien zu biegen. Die Nadel wird von diesen Linien gehalten, ist ihnen parallel, wenn sie frei ist, und ändert ihre Lage mit denselben. Es ist nicht einmal nöthig, daſs die Linien, deren Richtung unmittelbar durch die veränderte Luft afficirt wird, dicht an der Nadel liegen; sie können vielmehr sehr fern seyn. Die Gesammtheit der Magnetlinien um die Erde wird durch gegenseitige Spannung zu einem sensitiven Systeme verknüpft, welches nirgends

Digitized by Google

Trägheit (*sluggishness*) besitzt, sondern eine irgendwo eingetretene Veränderung überall fühlt. Es kann und wird eine neue Vertheilung der Kraft erfolgen, aber keine Vernichtung (*suppression*). So wird, wenn nah oder fern eine Veränderung in der Richtung eintritt, die Nadel an einem gegebenen Ort dieselbe fühlen und anzeigen, mehr oder weniger stark, je nach der Nähe des Orts und der Art der Veränderung. Allein gleichzeitig ist die Anordnung des ganzen Systems verändert und deshalb werden auch alle übrigen Nadeln ergriffen, in Gemäſsheit der Veränderung, welche die sie individuell beherrschenden Kraftlinien erleiden.

2935. Die Nadel ist eine Waage, woran alle Magnetkraft rings um einen gegebenen Ort sich anhängt, selbst bis zu den Antipoden, und sie zeigt für jeden Ort jede Veränderung in der Gröſse und Anordnung derselben, mag sie nun nah oder fern eintreten. Ihre mittlere Lage ist ihre normale; und in Bezug auf atmosphärische Aenderung ist es die Befestigung der Kraftlinien in der Erde (2919), welche (abgesehen von den säcularen Aenderungen) diesen Linien eine normale Lage giebt, und sie sowohl wie die Nadel aus dem gestörten Zustand in den normalen zurückführt. Daher ist es denn bei Betrachtung der Ursachen, welche die Declination oder Inclination stören, wichtig, die mittlere Lage der Nadel (2932) ins Auge zu fassen und nicht bloſs die Richtung ihrer Bewegung.

2936. So ist, nach meiner Hypothese, die wohlbekannte Wirkung der Sonne auf die Nadel eine sehr indirecte. Die Sonne an einem gegebenen Ort afficirt die Atmosphäre; die Atmosphäre afficirt die Richtung der Kraftlinien; die Kraftlinien afficiren die in jeder Ferne liegenden, und diese afficiren die respective von ihnen beherrschten Nadeln.

2937. Der Bequemlichkeit wegen habe ich bei Betrachtung einer speciellen Wirkung der Atmosphäre von der von dem Daseyn der Sonne abhängigen Resultante in der Atmosphäre gesprochen, und will es auch noch ferner eine Weile, ohne damit eine directe Wirkung dieser Resultante

Digitized by Google

oder des sie liefernden Theils der Atmosphäre auf die Nadel (2933) zu verstehen, um zu erwägen, in welcher Höhe sie wahrscheinlich in der Luft gelegen sey. Daſs sie nicht an der Oberfläche der Erde liegen könne, ergiebt sich aus der Depression der Linien und der Abnahme der Neigung zu St. Helena und Singapore während der Mitte des Tags; und daſs sie nicht einmal unter der Sonne liege, erhellt aus der Weise, in welcher die gröſste Wirkung einigermaſsen der Sonne vorausgeht, wie zu Hobarton, Toronto und anderen Orten, in verschiedenem Zeitbetrage; die gröſste Wirkung erfolgt weder zur Zeit des Standes der Sonne im Meridian, noch zu der (späteren) des beobachteten Temperatur-Maximums, sondern etwas vor beiden Momenten. Die durch die Sonne in der Luft bewirkten Temperatur-Veränderungen finden unten und oben nicht gleichzeitig statt. Die oberen Luftregionen über einem gegebenen Ort werden von der Sonne bei und nach ihrem Aufgange afficirt, ehe die Luft unten afficirt wird. Die an der Erde beobachtete Temperatur zeigt uns nicht den gleichzeitigen Gang der oberen Veränderungen an, und kann eine sehr unvollkommene Kenntniſs davon gewähren. Unten liegt das Temperatur-Maximum oft zwei, drei oder vier Stunden hinter der Sonne, wogegen die Atmosphäre die direct von den Sonnenstrahlen empfangene Wärme weit schneller annehmen muſs. Es ist sehr wahrscheinlich, ja fast gewiſs, daſs in den Sommermonaten die Temperatur noch um 4 oder 5 Uhr Nachmittags in den oberen Regionen steigt, während sie an der Erdoberfläche durch Ausstrahlung und andere Ursachen schon sinkt. Die in einigen Theilen Indiens und selbst in unseren Gegenden wohlbekannte Kältewirkung kurz vor Sonnenaufgang ist dieser Voraussetzung günstig. Erinnern müssen wir uns, daſs es nicht die absoluten Temperaturen der Luft an einem Orte sind, welche magnetische Variationen hervorrufen, sondern Temperatur-**U n t e r s c h i e d e** zwischen ihr und den umgebenden Regionen. Obwohl die oberen Regionen kälter als die unteren sind, können die Veränderungen in ihnen eben so

groſs oder gröſser seyn; sie erleiden Temperaturschwankungen (*range*), welche vermuthlich einfluſsreicher sind als höhere Schwankungen (*range*) (2967), und was wichtig ist, sie treten schneller und directer bei Gegenwart der Sonne ein. Die Wärmemenge, welche die Atmosphäre direct von den Sonnenstrahlen aufnehmen kann, wird angezeigt durch die verschiedenen Verhältnisse, welche wir von ihnen empfangen, wenn sie lothrecht oder schief zu uns gelangen, und somit mehr oder weniger Luft durchdringen; und nach Sonnenuntergang befinden sich die oberen Theile der Luft unter weit günstigeren Umständen zur Erkaltung durch Ausstrahlung als die unteren. So können die End-Veränderungen eben so groſs und gröſser seyn als unten, und doch lernen wir von ihnen, ihrer Ordnung oder Zeit, wenig durch die Temperaturbeobachtungen an der Erdoberfläche. Es läſst sich also für magnetische Effecte, wie die Depression der Kraftlinien zu St. Helena etc., aus physischen Ursachen nachweisen, warum der Hauptsitz der Wirkung oben seyn müsse.

2938. Bei dem Mittags-Effect geht das obere Ende der Nadel, auf seiner Rückkehr nach Osten, gewöhnlich eher durch die mittlere Lage (2935) als die Sonne westwärts durch den Meridian geht. In Toronto ist es etwa eine halbe Stunde voraus; auf St. Helena und in Washington anderthalb Stunden, in Greenwich und Petersburg zwei Stunden; und in Hobarton und am Cap der guten Hoffnung erfolgt der Durchgang um Mittag. Dergleichen Resultate scheinen anzudeuten, daſs der Ort der Maximumwirkung vor der Sonne liege, und wahrscheinlich ist dem so, doch nicht so sehr als man wohl zuerst vermuthet, wie ich glaube aus den folgenden Betrachtungen erhellen wird.

2939. Das Vorangehen der Zeit des Wirkungsmaximum mag zum Theil von einem Umstand wie der folgende abhängen. So wie die Sonne gegen einen Meridian vorrückt und ihn durchschneidet wird die Temperatur zuerst steigen und dann sinken, und das bewirkt an verschiedenen Orten die Verschiedenheiten, von welchen die magnetischen

Digitized by Google

Variationen abhängen. Allein diese hängen auch ab von der *Plötzlichkeit* der Verschiedenheiten und der Nähe, wo sie eintreten. Zwei Luftmassen von gleichen Temperaturunterschieden werden demnach die Kraftlinien stärker afficiren, wenn sie einander und der Nadel näher sind, als wenn sie weit davon liegen. Und ferner, wenn eine Luftmasse an einem Theile eine gewisse niedere Temperatur besitzt und, bei horizontaler Bewegung, erst rasch eine gewisse hohe Temperatur erhebt und dann langsam zu der früheren niedrigen herabsinkt, wird sie, wenn sie eine Reihe von Kraftlinien durchschneidet, dieselben vorn und hinten in entgegengesetzten Richtungen afficiren, am stärksten aber an der rasch veränderten Seite.

2940. Nun muſs die Luft, als erhitzt durch die Sonne, sich in diesem Zustande befinden. Nach Analogie mit starren und flüssigen Körpern werden die Temperaturänderungen, welche sie erleidet, wenn man sie der Wärme aussetzt und dann entzieht, beim Steigen rascher seyn als beim Sinken, und so werden die Veränderungen in den vorangehenden Theilen rascher geschehen als in den nachfolgenden. Dazu kommt der Effect der Erwärmung der Atmosphäre durch die Erde; denn da diese die Wärme langsamer annimmt, wie aus der Zeit der Maximum-Temperatur hervorgeht, so werden ihre Effecte der oberen Luft allmälig mitgetheilt, und nach Fortgang der Sonne verzögern sie das Erkalten derselben und vergröſsern den schon erwähnten Effect. Aus diesen Betrachtungen erhellt, daſs der stärkste Effect und die gröſste Variation westlich von der Sonne, und die nachfolgende oder schwächere Wirkung östlich von derselben liegen muſs. Die mittlere Lage der Nadel während der ganzen Veränderung würde der Sonne vorausgehen.

2941. Hr. Broun hat die tägliche Variation in verschiedenen Höhen beobachtet, nämlich zu Makerstoun und auf dem fast eine halbe (engl.) Meile höheren Gipfel der Cheviot Hills; er fand, glaube ich, keinen Unterschied in der Intensität, sah aber die Veränderung (*progress*) an der oberen Station *früher* eintreten. Es würde interessant seyn,

Digitized by Google

oben ein Observatorium zu errichten, allein um die erforderlichen Resultate zu finden, müſste man Luft, aber keine starre Substanz unter sich haben.

2942. Es giebt einen andern Umstand, welcher auf die *Zeiten* des Eintritts (*times of passages*) der Declinationsveränderung wesentlich einwirkt. Wenn zwei, im Norden und Süden des Aequators liegende Orte gleiche Neigung und entgegengesetzte Abweichung haben (*i. e. if both their upper ends point east or west*), so müssen die Effecte einander entsprechen und ein Paar bilden. Allein wenn beide eine östliche oder westliche Abweichung haben (damit, wie gewöhnlich, die des Nordendes der Nadel gemeint) so müssen die schon beschriebenen Veränderungen eintreten, so wie die Sonne zwischen ihnen hindurchgeht, allein in der *Zeit* würde ein Unterschied seyn. So wie die Sonne erscheint und heranrückt, werden die Nadeln *a* und *b* (Fig. 28. Taf. I.) höchst wahrscheinlich zusammen afficirt: allein, wenn beide Orte eine östliche Abweichung haben, wird der südliche, wenn sie näher kommt (*draws nigh*), früher und zugleich stärker afficirt, und nach einer mehr oder weniger langen Zeit wird an dem andern Orte eine entsprechende Wirkung folgen. Denn da die Nadeln zur Zeit, da sich die Sonne in ihren magnetischen Meridianen befindet, aus der ersten Hälfte der Reihe ihrer Veränderungen zu 0° zurückgekehrt sind, und der Eintritt in den Meridian der südlichen Nadel früher erfolgt als in den der nördlichen, so muſs die südliche in ihren Veränderungen der nördlichen voraus seyn. Wäre die Declination an beiden Orten westlich, würde die nördliche Nadel der südlichen vorauseilen.

2943. Die aufgestellte Hypothese rücksichtlich der Bewegungen der Nadeln stimmt nicht bloſs im Allgemeinen mit den Thatsachen überein, und wird es auch, wenn meine Hoffnungen begründet sind, bei sorgfältigeren Vergleichungen im Speciellen, sondern stimmt auch mit der *Gröſse* der Kraft, die zu den in gegebenen Stunden beobachteten Declinationen erforderlich ist. Ich habe mich bemüht, experimentelle Beweise von dem Unterschied der Wirkung des

Digitized by Google

Sauerstoffs und des Stickstoffs auf die der Erdkraft unterworfenen Nadeln zu erlangen, aber bisher vergeblich. Dieſs ist jedoch nicht überraschend, da eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol unter denselben Umständen ebenfalls kein Resultat gab. Vielleicht geben empfindlichere Apparate ein positives Resultat.

2944. Daſs kleine Sauerstoffmengen keine Anzeige von der Wirkung der gesammten Atmosphäre geben, wird nicht überraschen, wenn man erwägt, wie auſserordentlich groſs diese Masse ist und wie ungeheure Strecken sie einschlieſst von den Curven, vermöge welcher sie, der Hypothese nach, wirkt, und daſs dennoch die Wirkung auſserordentlich klein ist. Die gröſste Declinationsveränderung (*the extreme declination*) zu Greenwich beträgt 12', gleich etwa 4' 24" der östlichen und westlichen Aenderung der freien Nadel, und das wäre das Ganze, was man zu erklären hätte. Schwerlich kann man erwarten, daſs kleine Sauerstoff- und Stickstoffmengen, die nur in einer Länge von wenigen Zollen auf die durch sie gehenden magnetischen Curven wirken, einen solchen Effect zeigen, wenn nicht Apparate von auſserordentlicher, fast unendlicher Empfindlichkeit angewendet werden; allein aus dem, was ich gesehen, wenn Sauerstoff von verschiedener Verdünnung (2780) oder von verschiedener Temperatur (2861) mit einander verglichen wurde, bin ich zu glauben veranlaſst, daſs die Wirkung der Sonne auf den in der Atmosphäre vorhandenen zuletzt für hinreichend zur Hervorbringung dieser Variationen gefunden werden wird.

2945. Wo die Luft eine Temperatur- oder Volumsveränderung erleidet, da ändert sie die Richtung der Kraftlinien, und diese, vermöge ihrer Spannung, übertragen die Wirkung auf entferntere Linien (2934), deren Nadeln demgemäſs afficirt werden. Die fortgepflanzte Wirkung wird stärker oder schwächer seyn, je nachdem die Entfernungen kleiner oder gröſser sind, und daher kann eine Veränderung in der Nähe die in der Ferne überwiegen; eine nahe Wolke mag momentan mehr bewirken als die aufgehende Sonne. Das sind die unregelmäſsigen Variationen. Die Aus-

Digitized by Google

dehnung ihres Einflusses ergiebt sich sehr gut aus den photographischen Aufzeichnungen von Greenwich und Toronto. Der Band der Greenwicher Beobachtungen von 1849 enthält ein photographisches Bild von den Veränderungen der Declination vom 18. bis 19. Febr. 1849. Zwischen 6 und $7\frac{1}{2}$ ändert sich dieselbe um 16' in 18 Zeitminuten oder um nahe 1' in jeder Zeitminute. Im Mittel beträgt die Veränderung für denselben Tag 1',95 in zwei Stunden oder 1 Sekunde für jede Zeitminute, so dafs die unregelmäfsige Variation (welche als eine locale in Bezug auf die Sonnenkraft zu der Zeit betrachtet werden kann) sechzig Mal gröfser ist als der Effect der grofsen Resultante; überdiefs hatte sie entgegengesetzte Richtung, ging von Ost nach West, während die mittlere Variation von West nach Ost ging.

2946. Eine andere Art zu zeigen, wie die Wirkung näher gelegener Theile der Atmosphäre die der ganzen überwältigt und versteckt, besteht darin, dafs man durch eine photographische Darstellung wie die erwähnte die Linie der mittleren Variation zieht. Dann wird man sehen, wie gering der mittlere Effect auf die Nadel ist, verglichen mit dem unregelmäfsigen und verhältnifsmäfsig localen Effect für denselben Zeitmoment. Der Magnet, welcher zu diesen Beobachtungen diente, war ein Stahlstab von 2 Fufs Länge, 1,5 Zoll Breite und 0,25 Zoll Dicke, folglich nicht für plötzliche Eindrücke empfänglich; ein kurzer Magnet würde wahrscheinlich viele Fälle zeigen, wo die unregelmäfsige Variation mehrere hundert Mal gröfser wäre als die mittlere. Indefs würden alle diese Unregelmäfsigkeiten und überwiegenden Einflüsse näherer Massen eliminirt, wenn man aus mehrjährigen Beobachtungen das Mittel nähme; dadurch würde ein wahres Resultat erhalten, auf welches die ausgesprochene Hypothese angewandt und geprüft werden könnte.

2947. Kehren wir für eine Weile zu der jährlichen Variation (2882) zurück: ein guter Theil derselben ist schon bei der täglichen Variation discutirt worden. Die Anordnung der magnetischen Effecte nach den Monaten, wie sie

von Sabine für Hobarton, Toronto, St. Helena u. a. O. ausgeführt, erweist sich ungemein lehrreich und wichtig, besonders für Orte zwischen und nahe den Wendekreisen. Sie liefert für die jährliche Variation diejenige Art von Analysis, welche für die tägliche durch die Stunden gegeben wird. Jeder Monat erzählt uns, durch den Vergleich seiner Curve mit denen anderer Monate, seine eigene Geschichte, während er seinen Vorgänger und Nachfolger mit einander verknüpft.

2948. Ich werde später Gelegenheit nehmen, diese monatlichen Mittel zu betrachten, will indeſs bemerken, daſs der durch diese Mittel angedeutete Effect des jährlichen Heranrückens und Zurückweichens der Sonne mit der Hypothese von nahen und fernen Wirkungen übereinstimmt (2945). Hobarton und Toronto liegen auf entgegengesetzten Halbkugeln, so daſs die Sonne, wenn sie sich dem einen nähert, von dem andern entfernt, und demnach ändert sich die Gröſse der Variationen in entgegengesetzter Richtung. Dieſs zeigt der Durchschnittswerth für jeden Monat, bei Hobarton nach siebenjährigen, und bei Toronto nach zweijährigen Beobachtungen:

	Hobarton, 42°, 52',5 S.		Toronto, 43° 39' 35' N.	
Januar	11',66		6',51	
Februar	11,80		6,40	
März	9,50		8,50	
April	7,26		9,52	
Mai	4,56		10,34	
Juni	3,70	Winter	11,99	
Juli	4,61		12,70	Sommer
August	5,89		12,68	
September	8,24		9,72	
October	11,01		7,59	
November	12,05	Sommer	5,75	
December	11,81		4,47	Winter.

Die beiden Stationen weichen in der Breite nur um 47' von einander ab, und der äuſserste Unterschied des atmosphärischen Effects zwischen Winter und Sommer ist

eben so gering, beträgt für Hobarton, welches unter der höheren Breite liegt, 8',35 und für Toronto 8',23.

2949. Nach Dove ist die nördliche Hemisphäre im Juli um 17°,4 F. wärmer, und im Winter nur 10°,7 kälter als die südliche. Die Zahlen sind folgende:

Juli.	Nördl. Halbkugel	71°,0	62°,3 Ganze Erde.	
	Südl. «	53 ,6		
Jan.	Nördl. «	48 ,8	54°,15 « «	
	Südl. «	59 ,5		

Das Mittel des ganzen Jahres ist 59°,9 für die nördliche und 56°,5 für die südliche Halbkugel. Deshalb ist, wie Dove ferner zeigt, die ganze Erde im Juli, wann die Sonne auf die Land - Wasser - Theile (*terraqueous parts*) scheint, 8° wärmer als im Januar, wo sie über den Wasser-Regionen steht; und aus derselben Ursache ist das Mittel für die südliche Halbkugel 3°,4 geringer als das Mittel für die nördliche. Der Unterschied zwischen Januar und Juli beträgt für die nördliche Halbkugel 22°,2 und für die südliche nur 5°,9. Diese Unterschiede sind so eigenthümlich in ihrer Anordnung und so groſs in ihrem Betrage, daſs sie einen Einfluſs auf die Vertheilung der magnetischen Kräfte der Erde haben müssen; allein die Data sind noch nicht hinreichend, die Resultate davon anzugeben. Sabine hält es aus seiner Analyse der Beobachtungen für wahrscheinlich, daſs die Summe der erdmagnetischen Intensität gröſser ist, wann die Sonne in den südlichen Zeichen steht, d. h. während unseres Winters (2891). Ich würde dieſs der Theorie nach erwarten, wenigstens an den Orten, wo die Neigung nicht sehr groſs ist; denn eine kältere Atmosphäre muſs die Magnetkraftlinien besser leiten, und deshalb müssen die Systeme um die Erde sich zu der Zeit in den kälteren Theilen gleichsam condensiren. Es ist jedoch zweifelhaft, ob die Nadel diesen Unterschied anzeige, denn die Kraftlinien würden nicht, wie in dem früher (2922) vermutheten Fall, oben zurückgehalten seyn (*be restrained above*), sondern könnten sich aus dem Weltraum frei zusammenziehen

Digitized by Google

(*gather in*). Aus dem Gesagten geht jedoch hervor, daſs ein solcher Schluſs nur aus Beobachtungen, die gleichmäſsig auf beiden Halbkugeln angestellt sind, mit einiger Zuverlässigkeit gezogen werden kann.

2950. Gelangen wir jemals zu einer genügenden Kenntniſs der jährlichen Variation an mehreren Stationen in verschiedenen Theilen beider Hemisphären, so würden wir Data bekommen, nach welchen die Tiefe des Sitzes der Magnetkraft beurtheilt werden könnte; denn da diese Kraft durch die jährlichen Temperaturveränderungen (2884) voraussichtlich auf sehr groſsen Erstreckungen der Erdoberfläche Schwankungen erleidet, so würden diese an Charakter und Ausdehnung verschieden seyn, je nachdem der Ursprung der Linien sich mehr oder weniger tief gelegen erwiese.

2951. Rücksichtlich der vielen Variationen der Magnetkraft, die nicht periodisch sind oder nicht so abhängen von der Sonne, welche indeſs die schon (2945) erwähnten unregelmäſsigen und überwiegenden Veränderungen, wie ich voraussetze, in Folge localer Störungen der Atmosphäre hervorruft: so mag es mir erlaubt seyn, meine Gedanken darüber mitzutheilen.

2952. Die *Veränderung des Druckes* der Atmosphäre auf einen gegebenen Theil der Erdoberfläche muſs eine Variation an diesem Theil der Erde hervorbringen. Sie ergiebt sich durch einen Unterschied von 3 Zoll Quecksilberhöhe oder als ein Zehntel des Gewichts der Atmosphäre. Nun ist der Sauerstoff in einem gegebenen Raum paramagnetisch nach Verhältniſs seiner Menge (2780), und deshalb scheint es nicht möglich, daſs diese Menge an einer gegebenen Stelle der Erdoberfläche, sie mag nun wie zuvor nach dem Volum, oder nach dem Gewicht in einem gegebenen Volum an der Erdoberfläche betrachtet werden, bis zu einem Zehntel des Ganzen variire, ohne daſs nicht entsprechende Veränderungen in der Vertheilung der Magnetkraft dadurch bewirkt werden. Bei Erhöhung der Quantität oder des barometrischen Drucks ziehen sich die Linien zu-

sammen und die Kraft wird intensiver; bei Verringerung des Drucks erfolgt das Umgekehrte.

2953. An jedem Ort gegen die Gränzen des Raumes hin, wo der Luftdruck zu- oder abnimmt, werden wahrscheinlich Veränderungen in der Richtung der Kraftlinien eintreten, vorzüglich an solchen Orten, die zwischen zwei anderen liegen, an deren einem die Atmosphäre sich anhäuft, während sie an dem andern sich zurückzieht. Ob diese Veränderungen (welche, wie ich glaube, erfolgen müssen) durch ihre Nähe hinreichend groſse Effecte erzeugen, um an unseren magnetischen Instrumenten merkbar zu werden, ist eine späterhin zu lösende Aufgabe. Die Ursache anzudeuten ist nützlich, weil die Kenntniſs von dem Daseyn, der Natur und Wirkung derselben auf die Mittel führt, ihre Wirkungen am besten zu beobachten.

2954. *Winde und groſse Strömungen in der oberen Luft* mögen oft, wenn sie nur einige Zeit anhalten, von magnetischen Veränderungen begleitet seyn. Eine beständige Strömung, wie der Passatwind, mag einen beständigen Effect ausüben; wenn aber, während die Anordnung der Magnetkraftlinien in der Atmosphäre, gemäſs deren Beschaffenheit zu der Zeit, sich in einem gegebenen Zustande befindet, ein Wind entsteht, welcher kalte und warme Luftmassen mit einander vermischt, oder die Luft in einer Gegend dichter als in einer anderen macht, oder, indem er von einer zur anderen geht, Gegenden ausgleicht, die zuvor in verschiedenen Zuständen waren, so wird jede solche Veränderung begleitet seyn von einer entsprechenden Veränderung in der Anordnung der Magnetkraft, welche wir vielleicht künftig durch unsere magnetischen Instrumente ausmitteln werden. Selbst Fluth und Ebbe müssen eine Wirkung ausüben, obwohl sie viel zu gering seyn mag, um sichtbar gemacht zu werden.

2955. Die Fällung von *Regen* oder *Schnee* ist theoretisch ein Grund zur Veränderung der magnetischen Verhältnisse des Raumes, worin sie stattfindet; weil sie die Temperatur ändert und eine Menge verdünnender diamag-

netischer

Digitized by Google

magnetischer oder neutraler Materie aus demselben entfernt. Ein kühler (*chilling*) *Hagelschauer* könnte im Sommer auf die Nadel wirken. *Wolken* mögen in mehrfacher Weise einen merklichen Einfluſs ausüben, zuweilen durch ihre Verschiedenheit von den benachbarten heiteren Luftschichten, zuweilen durch Absorption der Sonnenstrahlen und Entwicklung einer merklichen Wärme in verschiedenen Höhen und an verschiedenen Orten der Atmosphäre oder durch mehr oder weniger groſse Verhinderung ihrer Entwicklung an der Erdoberfläche. Diejenigen wärmeren oder kälteren Luftmassen, von welchen die Meteorologen sprechen, und welche wegen ihrer Durchsichtigkeit nicht sichtbar sind, üben eine verhältniſsmäſsige Wirkung aus. Und theoretisch gesprochen, wäre es nicht absolut unmöglich, daſs die warme und theilweise desoxydirte Luft einer groſsen Stadt, wie London, die Instrumente in der Nachbarschaft afficirte, und, wenn dem so ist, würden sie dieselben zu verschiedenen Zeiten ungleich afficiren, je nach der Richtung des Windes.

2956. Wenn man sich an der Erdoberfläche einen Fleck denkt, welcher daselbst die Resultante der atmosphärischen Actionen darüber vorstellt, und betrachtet deren Lauf, wie sie unter dem Einfluſs der verschiedenen, zum Theile angeführten Ursachen hin- und herwandert, während sie noch mit der Sonne fortgeht; so kann man sich eine Idee bilden von der Weise, wie sie die auf der Erde vertheilten Observatorien afficirt. Ich glaube daſs ihre Bahn, was die östliche und westliche Richtung der Wanderungen betrifft, sich zum Theil in den photographischen Aufzeichnungen, von Greenwich und Toronto ausspricht, jedoch gemischt mit anderen Veränderungsursachen. Dieser Fleck kann concentrirt oder diffuse seyn, kann fortgehen und anderswo wieder erscheinen; ja es kann deren gar zwei oder mehrere geben, hinreichend stark um die Nadel zwischen ihnen in Schwingungen zu versetzen.

2957. Das Nord- oder Südlicht kann schwerlich unabhängig seyn von der magnetischen Beschaffenheit der Atmosphäre, da es in den Regionen derselben und vielleicht

Digitized by Google

in dem Raume darüber vorkommt. Der Ort des Nordlichts ist im Allgemeinen unter denjenigen Breiten, deren Luft durch Temperatur- und Quantitätsunterschiede eine bestimmte magnetische Relation zu der unter dem Aequator hat, und beide, das Polarlicht und das Medium, worin es vorkommt, sind durch magnetischen Charakter mit einander verknüpft; es wird uns daher wahrscheinlich zu einem bessern Verständniſs des ersteren führen, wenn wir das letztere beachten und einigermaſsen zu kennen suchen. Das Polarlicht ist schon verknüpft mit magnetischen Störungen und Stürmen, und dereinst mag es auch in einer bis jetzt noch nicht voraus-zusehenden Weise mit den Veränderungen der Atmosphäre verknüpft werden.

2958. Können Humboldt's magnetische Gewitter von atmosphärischen Veränderungen herrühren? Dieſs ist eine Frage, auf welche ich Folgendes bemerke. Gesetzt, es wäre ein magnetischer Rest in der Atmosphäre, und es wären alle örtlichen oder unregelmäſsigen Variationen zur Zeit unverändert geblieben; wenn dann an einem Ort eine Veränderung einträte, so würde sie augenblicklich überall auf der ganzen Erde verspürt werden, im Verhältniſs zur Entfernung von dem Orte der Veränderung. Sie würde augenblicklich verspürt werden, weil der Impuls hauptsächlich oder wesentlich nicht durch die Masse der Erde oder Luft, sondern durch den Raum darüber fortgepflanzt würde; denn die Linien daselbst würden in demjenigen ihrer Theile, welcher durch die Atmosphäre geht, Veränderungen erleiden, und, wie ich mir denke, auf die übrigen Linien im Raume rings um unsere Erdkugel einwirken, und diese würden ihrerseits ihre zur Erde herabgehenden Theile afficiren, welche die Nadeln beherrschen. Im Weltraum, wo die Magnetkraftlinien nicht mit Materie verknüpft sind (2787. 2917), denke ich mir, werden die Veränderungen derselben mit der Schnelligkeit des Lichts oder gar mit der höheren Schnelligkeit oder Instantanität fortgepflanzt, welche wir für die Linien der Gravitationskraft annehmen; und wenn dem so

Digitized by Google

ist, würde eine magnetische Störung an einem Ort instantan auf der ganzen Erde verspürt werden.

2959. Allein die Schwierigkeit ist: sich eine atmosphärische Veränderung zu denken, die ausgedehnt und plötzlich genug wäre, um sich unter den vergleichend localen Variationen, die fortwährend stattfinden, überall zu derselben Zeit bemerklich zu machen. Wenn indeſs in diesen Störungen, durch die Opposition entgegengesetzter Kräfte, ein Stillstand (*lull*) zur selben Zeit an zwei oder mehreren Orten einträte, könnten jene Orte einen gleichzeitigen Störungseffect zeigen, und dieſs selbst dann, wenn die Ursache an dem Orte, wo sie vorkäme, wenig oder gar nicht merkbar wäre. Eine gleichzeitige Aenderung über einen Flächenraum von 600 oder 800 (engl.) Meilen im Durchmesser könnte in der Mitte dieses Raumes eine geringere Aenderung hervorbringen als an den Enden der Radien von 1000 Meilen.

2960. Es wird eine schöne Principfrage, in wiefern Luftmassen vermöge der sie durchdringenden Magnetkraft bewegt werden können. Wenn zwei Volume Sauerstoff von verschiedener Dichtigkeit einem kräftigen Magnet mit intensivem Kraftfelde unterworfen werden, ist die mechanische Verdrängung des einen durch das andere sehr auffallend. Ob in der Natur die ungeheure Gröſse der betreffenden Luftvolume und der Unterschied in der Intensität der erdmagnetischen Kraft unter den verschiedenen Breiten, wo sie vorkommen, im Verein mit dem Temperatur-Unterschied, hinreichend seyen, den geringen Sauerstoffgehalt der Luft und die kleineren Dichtigkeitsschwankungen zu compensiren, ist eine Frage, die sich für jetzt nicht beantworten läſst. Das Differential-Bewegungsresultat ist, wie gezeigt, sehr groſs, wogegen das directe Resultat, wie das der Compression, nicht nur sehr klein, sondern Null ist (2774. 2750), und die Atmosphäre ist eine Region, wo es sich um die Differential-Wirkung enormer Massen handelt.

2961. Was nun den Unterschied in der Intensität be-

Digitized by Google

trifft, so schlieſsen Gay-Lussac und Biot aus ihren Beobachtungen [1]), daſs die Magnetkraft in einer Höhe von vier (engl.) Meilen dieselbe sey wie an der Erdoberfläche. Allein Hr. Kupffer zieht aus Gay-Lussac's Beobachtungen den Schluſs, daſs dort eine geringe Abnahme stattfinde, und Prof. Forbes folgert aus seinen in verschiedenen Theilen von Europa gemachten Versuchen, daſs die Kraft nach oben zunehme [2]). Eine solche Abnahme mag die Folge des gröſseren Abstandes von der Quelle der erdmagnetischen Kraft seyn, oder was wahrscheinlicher ist, mag davon herrühren, daſs der Sauerstoffgehalt dort ein anderer wie an der Erdoberfläche ist. Nach Gay-Lussac's Angabe, hatte die von ihm herabgebrachte Luft 0,5 von der Dichte der unteren. Folglich würde die dem Raum des oberen Orts, von dem die Luft genommen ward, hinzugefügte paramagnetische Kraft nicht mehr als die Hälfte von derjenigen seyn, welche unten durch die Gegenwart der dichteren Atmosphäre hinzugefügt wird. Dieſs glaube ich muſs einen Unterschied in der Vertheilung der Magnetkraft machen, fast sicher unter dem Aequator, wo die Kraftlinien parallel sind der allgemeinen Richtung der Atmosphäre (2881), und für die horizontale Componente, auch unter der Breite, unter welcher Gay-Lussac und Biot ihre Luftreisen machten. Es ist auch ebenso möglich, daſs die Beobachter in solcher Relation zu der wärmern oder kältern Luft der Umgebung standen, daſs durch einige der vorhin (2951) beschriebenen Umstände der beobachtete Unterschied erzeugt oder vielmehr abgeändert werde.

2962. Mag indeſs das von Gay-Lussac und Biot erlangte Resultat eine von dem Abstand herrührende Kraftveränderung anzeigen oder nicht, so wissen wir doch, daſs die Kraft, vom magnetischen Aequator aus nach Norden und Süden, groſse Veränderungen erleidet; wie Humboldt und Bessel sagen, vom Aequator nach den Westgränzen

1) *Ann. de chim. An. XIII. Vol. LII. p.* 86.

2) *Edinb. Phil. Transact.* 1836. *Vol. XIV. p.* 25.

der Baffin's-Bay verdoppelt wird. Und wenn so wenig wie ein Drittel-Kubikzoll Sauerstoff eine Kraft auszuüben vermag gleich der von einem der Wirkung unseres kräftigen Magnets unterworfenen Zehntel-Gran (wovon? P.), so läſst sich wohl begreifen, daſs die auch nur in wenig Kubikmeilen (*miles*) erwärmter oder erkälteter Luft vorhandene ungeheure Menge Sauerstoff den groſsen Unterschied der Magnetkraft compensiren, und so, durch eine Ortsveränderung, Luftströme oder Winde verursachen kann, welche ihren Ursprung in der Magnetkraft haben. In solchem Fall würden wir eine Relation der Magnete zu Stürmen haben und die Magnetkraft der Erde hätte zu thun mit den mechanischen Anordnungen und Variationen der Atmosphäre, zuweilen Strömungen veranlassend, die ohne sie nicht existiren würden, und zu anderen Zeiten sich denen widersetzend, die sonst entstanden wären, je nachdem die Differentialrelationen, durch welche sie wirken würde (2757), mit den natürlichen Ursachen zur Bewegung der Luft sich combinirten oder im Gegensatz befänden. Solche Bewegungen würden auf die Magnetkräfte rückwirken und diese würden sich rejustiren, und so würde es sowohl materielle als potentielle magnetische Gewitter (*storms*) in der Atmosphäre geben, wie sie von der letzteren Art in der Erde vorausgesetzt worden sind.

2963. Beim Schlusse dieser Mittheilung habe ich noch meinen Freunden, dem Obersten Sabine und dem Professor Christie zu danken für das Interesse, welches sie an dem Gegenstand nahmen, Ersteren noch für die auſserordentliche Gefälligkeit, mit der er mir die Benutzung von Beobachtungen und deren Daten gestattete, muſs aber bemerken, daſs sie durchaus nicht verantwortlich sind für die eigenthümlichen Ansichten, welche ich auszusprechen wagte. Ich erkenne wohl, daſs Vieles von dem, was ich schrieb, auf sehr unzureichender Betrachtung beruht, hoffe indeſs, daſs in der Darstellung der von mir vermutheten physischen Ursache der Variationen einiges Wahre liege, und habe des-

Digitized by Google

halb mit deren Veröffentlichung nicht angestanden, glaubend daſs es der Wissenschaft zum Vortheil gereiche. Die magnetischen Eigenschaften und Beziehungen des Sauerstoffs sind vollkommen klar und deutlich, und durch den Versuch festgestellt (2774. 2780); und es ist keine Hypothese diese Eigenschaften auf die Atmosphäre zu übertragen, da die Atmosphäre, als ein bloſses Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff, dieselben ebenfalls besitzt (2862) [1]). Sie variirt in ihren magnetischen Kräften durch Ursachen, welche unter natürlichen Umständen auf sie einwirken, und sie befähigen, einige der Effecte zu erzeugen, welche ich mich bemüht habe im Allgemeinen zu beschreiben.

2964. Wenn sie, auch nur zum Theil, eine Ursache der beobachteten magnetischen Variationen ist, so ist es doch sehr wichtig, eine solche Quelle der Wirkung zu identificiren und unterscheiden, wenn auch selbst unvollkommen; denn die Aufmerksamkeit wird dann auf die Wirkung und die von ihr erzeugten Phänomene hingelenkt. Die angedeutete Ursache hat den Vorzug, periodisch und in denselben Perioden vorzukommen, wie eine groſse Klasse der Effecte, die sie voraussetzlich erzeugen kann; und wenn die Uebereinstimmung anfangs auch weit allgemeiner scheinen sollte, wird sie ihren Anspruch auf unsere Aufmerksamkeit sehr erhöhen. Sie hat den Vorzug Erklärungen und selbst Vermuthungen über viele andere magnetische Vorgänge, auſser den periodischen, anzubieten, und zeigt sich zu einer Zeit, wo wir keine klare Kenntniſs von einer andern physischen Ursache der Variationen haben, sondern vage darauf beschränkt sind, sie von eingebildeten elektrischen Strömen in der Luft oder dem Raume darüber oder in der Erde abzuleiten.

2965. Die Ursache sowohl der ursprünglichen Kraft als deren secularen Veränderungen ist uns unbekannt. Wenn wir aber, bei Betrachtung der Erde als Magnet, im Stande wären, zwischen innerer und äuſserer Wirkung zu unter-

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. pp.* 409, 406. (Ann. Bd. 73, S. 257).

Digitized by Google

scheiden, und eine groſse Klasse von Erscheinungen von dem Reste zu trennen, so würden wir genauer beurtheilen können, was uns in beiden Richtungen zu wissen Noth thut, welche Probleme einer Lösung bedürfen, und wie neue Winke aus der Natur über die Quelle der Kraft und deren Effecte zu würdigen sind.

2966. Der Magnetismus des Sauerstoffs scheint mir wunderbar zu seyn. Der Sauerstoff ist das in der Luft, was das Eisen in der Erde ist. Das fast gänzliche Verschwinden seines Magnetismus, wenn er Verbindungen eingeht, wie mit Stickstoff, Kohlenstoff und selbst mit Eisen, wobei er, bei gleichem Gewicht, weiter unter den Zustand des Metalls oder des Sauerstoffs reducirt wird, ist höchst merkwürdig (*impressive*). Eben so auffallend ist der Contrast mit dem Stickstoff, der ihn verdünnt; und diese Verschiedenheit erinnert an die, welche auch in Bezug auf statische Elektricität (1464) und die Leidener Flasche zwischen ihnen existirt. Chlor, Brom, Cyan und deren Genossen, um chemisch zu sprechen, haben keine magnetische Beziehung zum Sauerstoff. Er steht in dieser Beziehung, wie in allen seinen chemischen Actionen, allein in der Natur.

2967. In Bezug auf den atmosphärischen Magnetismus ist noch viel mit Sauerstoff zu thun. Der Betrag seiner paramagnetischen Kraft bei verschiedenen Graden der Temperatur und der Verdünnung ist noch genauer zu ermitteln, und dieſs hoffe ich mittelst einer Torsionswaage zu bewerkstelligen (2783).

2968. Schwerlich kann Jemand über den atmosphärischen Magnetismus nachdenken, ohne auf die groſsen Fragen zu gerathen: Was bezweckt die Natur mit diesem Magnetismus der Atmosphäre, warum ist er jährlichen und täglichen Veränderungen unterworfen, und warum verschwindet er ganz, wenn er (der Sauerstoff) beim Verbrennen oder Einathmen Verbindungen eingeht. Unzweifelhaft giebt es einen Zweck oder mehre, denn nichts ist überflüssig in der Natur. Bei physischen Kräften finden wir keinen Mangel oder Ueber-

Digitized by Google

fluſs (*remainders or surplusage*) an Wirkung. Die kleinste Vorkehr (*provision*) ist so wesentlich als die gröſste. Nichts ist mangelhaft, nichts kann gespart werden.

Royal Institution 14. Sept. 1850 [1]).

III. *Ueber die Reflexion an der Oberfläche durchsichtiger Körper; von Hrn. J. Jamin.*

(*Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIX. p.* 263. — Auf diese Abhandlung wurde bereits im Bd. 82 S. 279 d. Ann. verwiesen.)

Von allen optischen Phänomenen scheint ohne Widerrede das der Reflexion gegenwärtig am besten gelöst zu seyn. Die Erscheinungen, stets den mathematischen Formeln entsprechend, sind von diesen so oft vorausgesehen worden, daſs neue Versuche über den Gegenstand überflüssig erscheinen würden, wenn nicht einige gewichtige Einwürfe, deren Aufzählung mir verstattet seyn mag, doch wiederum Zweifel erregten.

Die von Fresnel zur Berechnung der Intensität des reflectirten Lichts gegebenen Formeln, setzen, wie er selbst sagt, voraus, daſs an der Trennungsfläche zweier Mittel die Vibrationsperioden der einfallenden und reflectirten Welle zusammenfallen. Wenn dieser Satz richtig wäre, würde jede weitere Bestätigung überflüssig seyn; allein wenn er nur eine unbewährte Hypothese wäre, wenn die Phase der Lichtbündel geändert würde durch die Reflexion, so würden die Formeln mit den daraus abgeleiteten Folgerungen zerrinnen.

1) Das Original giebt nun noch eine Reihe von Tafeln mit stündlichen Beobachtungen der Declination und der Temperatur zu Toronto, St. Petersburg, Washington, Athabaska-See und Fort-Simpson. Da sie indeſs nicht wesentlich für die obigen Betrachtungen sind, so glauben wir sie hier, der Raumersparung wegen, fortlassen zu dürfen. P.

Ueber diesen Punkt hat sich also die Erfahrung auszusprechen: nun bestätigt sie die Voraussetzung nicht immer. Man weiſs nämlich durch die Versuche von Airy, daſs der Diamant und im Allgemeinen die Substanzen, die, obgleich durchsichtig, einen groſsen Brechungsindex besitzen, die geradlinige Polarisation des einfallenden Bündels in eine elliptische verwandeln, d. h. die Phase der reflectirten Strahlen verändern. Die Fresnel'sche Hypothese, gesetzt auch sie sey richtig für das Glas, kann demnach nur als ein besonderer Fall betrachtet werden, dessen allgemeines Princip noch aufgesucht werden muſs.

In Ermanglung genauer Beobachtungen zum Erweise oder Umsturze dieser Basis der Theorie, haben die Physiker Versuche gemacht, um die Folgerungen zu prüfen. Hr. Arago hat die Intensitäten des von Glas reflectirten Lichts gemessen, aber leider seine Resultate nicht veröffentlicht. Seebeck hat das Brewster'sche Gesetz über den Polarisationswinkel mit minutiöser Vorsicht bestätigt; aber seine Arbeiten stützen sich auf eine von Fresnel gekannte Thatsache, die eine Bedingung zu diesen Formeln war, ohne ein Beweis von denselben zu seyn. Endlich hat Hr. Brewster die Azimute der reflectirten Strahlen gemessen; allein seine Messungen bestätigen die Theorie nur innerhalb so weiter Fehlergränzen, daſs bedeutend andere algebraische Ausdrücke ebenfalls gerechtfertigt seyn würden. Ueberdieſs berechtigen sie zu einem gewichtigen Einwurf: einige nämlich stützen sich auf den Diamant, welcher offenkundig von den Fresnel'schen Fällen bedeutend abweicht, und dennoch sind die Uebereinstimmungen nicht minder vollkommen als beim Glase und Wasser; sie sind also unfähig die besonderen Reflexionsgesetze des Diamants nachzuweisen und liefern für diesen Körper eine trügerische Bestätigung; sie können mithin für die Fälle, für die sie als richtig vorausgesetzt wurden, nicht als ein genügender Erweis der Formeln angesehen werden.

Auſser diesen Gründen hatte ich zur Wiederaufnahme der Frage über die Reflexion noch andere gewichtige. Der allgemeinen Annahme nach zerfallen nämlich die Körper in

Digitized by Google

zwei Klassen: in solche, die sehr stark brechen und unvollständig polarisiren, und in solche, die mäſsig oder wenig brechen und vollständig polarisiren; es war daher wichtig durch entscheidende Versuche, die Gränze dieser beiden Klassen festzustellen, und nachzusehen, wie der Uebergang von der einen zur anderen geschehe. Endlich hatte man die Gesetze der elliptischen Polarisation des Diamants aufzusuchen und zu sehen, ob sie ausgedrückt würden durch die Formeln des Hrn. Cauchy, die ungeachtet ihrer Einfachheit bisher ohne experimentelle Prüfung geblieben sind. Man wird die Nothwendigkeit dieser Revision bald gewahr werden.

§. 1. Von der Natur der dem Lichte bei der Reflexion eingeprägten Modificationen.

Man muſs eingestehen, daſs die Polarisationsversuche noch keinen hohen Grad von Genauigkeit erreicht haben, theils wegen Unvollkommenheit der polarisirenden Instrumente, theils wegen der Schwierigkeit bei Feststellung der Azimute, oder der schlechten Anwendung des Lichts.

Gewöhnlich polarisirt man das Licht, indem man es an einem ebenen Glase reflectiren läſst; dieſs ist das unvollkommenste aller Verfahren. Auſser der Unbequemlichkeit für die Versuche, ist es ungenau, wie ich weiterhin zeigen werde; überdieſs hätte ich die Gesetze der Reflexion nur an einem bereits reflectirten Lichtstrahl erweisen können, und das wäre ein *Petitio principii* gewesen.

Kalkspathrhomboëder, die lang genug sind, um die beiden Bilder zu trennen, von denen man eins durch ein Diaphragma verdeckt, sind ohne Widerrede die besten Mittel; allein die Schwierigkeit, sie sich zu verschaffen, nöthigt die Physiker sich der Nicol'schen Prismen zu bedienen, die, neben einigen Uebelständen, fast denselben Vortheil darbieten. Sie lenken zuweilen das Licht ab, aber das rührt von einer schlechten Construction her; sie geben zu inneren Reflexionen Anlaſs, welche das Gesichtsfeld in Stücke theilen, von denen einige das Licht genau, andere aber nur

Digitized by Google

unvollständig polarisiren. Man vermeidet diese Unvollkommenheiten, wenn man sie von starken Dimensionen anwendet und sie mit engen Diaphragmen versieht. Endlich polarisiren sie nur die Strahlen, die ihrer Richtung parallel sind, was man jedoch immer bewerkstelligen kann. Mit diesen, zu oft vernachlässigten Bedingungen genügen sie allen Ansprüchen.

Fast immer experimentirt man mit Wolkenlicht. Gegen diesen Gebrauch kann man sich nicht genug aussprechen: er ist durch nichts gerechtfertigt und führt nothwendig zu groben Fehlern. Sucht man nämlich das Polarisationsazimut eines Strahles, so fängt man diesen mit einem analysirenden Prisma auf und bestimmt die Richtung des Hauptschnitts, bei dem eins der Bilder erlischt. Die Erfahrung zeigt dann, dafs diese Bedingung ziemlich erfüllt wird bei einer Reihe von Winkeln, die einen desto gröfsern Bogen umfassen als das Licht weniger intensiv ist. Man ist dann genöthigt, die Gränzen der scheinbaren Auslöschung aufzuzeichnen und das Mittel aus den Resultaten zu nehmen, die oft mehre Grade umfassen. Daraus entspringt eine leidige Unsicherheit und eine sehr grofse Anstrengung für das Auge, dessen Empfindlichkeit rasch abnimmt.

Zwar haben einige Physiker, um die Genauigkeit dieser Messungen zu erhöhen, secundäre Apparate vorgeschlagen, unter welchen ich nur den doppeltdrehenden Quarz des Hrn. Soleil nennen will, welcher in seinen beiden Theilen entweder gleiche Farbe behält oder ungleiche Farben annimmt, je nachdem die Axe des analysirenden Prismas parallel der Polarisationsebene ist oder nicht. Dieser Apparat erlangt bei zweckmäfsiger Dicke des Quarzes eine merkwürdige Genauigkeit; allein die Nothwendigkeit, in die er den Beobachter versetzt, mit weifsem Licht zu operiren, macht ihn ungeeignet die Dispersions-Umstände, die alle Erscheinungen begleiten, zu zeigen, und führt zu Fehlern, welche die unvermeidliche Folge dieser Dispersion sind und sehr beträchtlich werden, wenn diese es ist.

Dagegen kann man in diese Untersuchungen eine weniger

Digitized by Google

gefährliche Art der Vervollkommnung einführen, welche weder die Versuche noch die Apparate complicirt; sie besteht in der Anwendung von Sonnenlicht, das von Nicol'schen Prismen polarisirt und zerlegt und direct vom Auge aufgenommen wird.

Mittelst eines Heliostaten fixire ich ein Bündel Sonnenlicht horizontal und fange es in einer dunklen Kammer mit einem ersten Nicol'schen Prisma auf. Die hinreichend parallelen Strahlen polarisiren sich vollständig darin und werden mit einem zweiten solchen Prisma aufgefangen, mittelst dessen man sie auslöscht. So lange dieses Prisma wenig vom Auslöschungsazimut abweicht, kann man ohne Unbequemlichkeit das durchgelassene Bündel auffangen; so wie man sich aber um 3 oder 4 Grade nach rechts oder links davon entfernt, ist die Intensität des Lichts nicht mehr zu ertragen. Man begreift, dafs dann das Auslöschungs-Azimut mit keinem benachbarten Azimut zu verwechseln ist. Die Empfindlichkeit der Methode ist selbst so grofs, dafs die Auslöschung nicht zugleich im ganzen Gesichtsfelde vollständig ist, und wenn sie in der Mitte am gröfsten ist, hat man das Azimut erreicht. Mehre Personen, die so gut waren, mit mir vergleichende Versuche zu machen, begingen mit dem schwachen Wolkenlicht Fehler von mehren Graden, während bei Anwendung von Sonnenlicht die Fehler sich nicht bestimmen liefsen.

Aufser dem Vortheil, den doppelten Fehler, den man beim Messen der Azimute der einfallenden und reflectirten Strahlen begeht, bedeutend zu verringern, liefert die Anwendung des Sonnenlichts ein Mittel, wichtige Gesetze im Widerspruch mit den herkömmlichen Ideen zu erweisen:

1) Ich liefs einen in den Hauptazimuten polarisirten Lichtstrahl, nachdem er durch eine angemessene Richtung des zerlegenden Prisma ausgelöscht war, an einer grofsen Zahl von gut polirten Substanzen reflectiren. Er blieb nach der Reflexion vollkommen ausgelöscht, hatte folglich nicht aufgehört, vollständig in derselben Ebene polarisirt zu seyn. Wann, bei irgend einer einfallenden Polarisationsebene, die

Digitized by Google

Reflexion unter Neigungen geschah, die von der der Polarisation sehr verschieden waren, war zwar das Azimut geändert, aber der Strahl hatte nicht die Eigenschaft verloren, beim Durchgange durch den Zerleger vollständig zu erlöschen. Diese Versuche lehren, daſs die Reflexionen ohne merkliche Diffusion geschehen.

2) Nach den bekannten Polarisationsgesetzen müſste ein einfallender Strahl, der winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, bei einer bestimmten Incidenz aufhören reflectirt zu werden. Allein diese Bedingung ist niemals erfüllt; der Strahl erreicht ein Intensitätsminimum, ist aber immer sehr wahrnehmbar.

3) Der Polarisationswinkel kann durch die Bedingung aufgesucht werden, daſs ein natürlicher Strahl vollständig in der Einfallsebene polarisirt sey; aber auch hier habe ich erkannt, daſs diese Bedingung niemals verwirklicht ist, statt einer Incidenz von vollständiger Polarisation, nur ein Winkel von Polarisationsmaximum gefunden wird.

4) Wenn das einfallende Licht in einem nahe an 90° liegenden Azimute polarisirt ist, hört es auf nach der Reflexion polarisirt zu werden und; wenn das ursprüngliche Azimut zweckmäſsig gewählt ist, kann die Depolarisation unter dem Einfall des Polarisationsmaximums vollständig seyn, weil sie immer weniger hervortritt, so wie man die Neigung vergröſsert oder verringert.

5) Verringert man die Intensität des einfallenden Strahls, so nimmt die Empfindlichkeit des Auges ab, und man kann nicht mehr erkennen, ob die Polarisation vollständig sey; die Erscheinungen sind so, wie wenn dieselbe nach der Reflexion vollständig wäre.

Erinnert man sich, daſs die angewandten Prismen das Licht vollständig polarisiren, daſs die Depolarisation nur unter besonderen Umständen entsteht; so kann man diese Thatsachen weder der Unvollkommenheit der Apparate, noch der Diffusion des Lichtes zuschreiben, sondern muſs schlieſsen, daſs die durchsichtigen Substanzen das Licht nur unvollständig polarisiren. Die Analogie dieser Resultate mit

Digitized by Google

denen bei den Metallen erlaubt die Voraussicht, daſs alle Körper das Licht elliptisch polarisiren, und um dieſs zu erweisen, bedarf es nur des einfachen Versuchs, den ich beschreiben will.

Man nehme ein dünnes Gypsblättchen, von solcher Dicke, daſs es den zwischen Violett und Blau liegenden hanfgrauen Farbenton giebt, einen Farbenton, der sich rasch verändert, wenn man zwei rechtwinkliche Vibrationen von verschiedenen Phasen durch das Blättchen gehen läſst. Man stelle im reflectirten Strahl die Axe parallel der Einfallsebene und polarisire das einfallende Sonnenbündel in einer nahe bei 90° liegenden Azimute. Wenn die Reflexion an der polirten Fläche nichts thut als die Amplituden der Componenten der reflectirten Welle zu ändern, ohne die Vibrationsknoten zu verschieben, so verändert die Farbe des Blättchens sich nicht, sondern nur das Azimut. Wenn aber diese Farbe Modificationen in ihrer Natur erleidet, so darf man mit Sicherheit schlieſsen, daſs sich dem Gangunterschied, welcher das Blättchen den beiden in den Hauptebenen polarisirten Strahlen mittheilt, ein anderer, durch die Reflexion erzeugter Unterschied hinzufügt. Der Versuch beantwortet diese Alternative entscheidend. Von der streifenden Incidenz bis zum Polarisationswinkel sieht man die Farbe sich um eine Viertel-Undulation ändern, und für geringere Incidenzen zu ihrer früheren Zusammensetzung zurückkehren. Bei Wiederholung des Versuchs mit einer reflectirenden Metallfläche beobachtet man dieselben Farbenveränderungen. Es ist unmöglich, Zweifel an der theoretischen Bedeutung dieser Versuche zu hegen; sie besagen:

1) Die durchsichtigen Substanzen polarisiren das Licht nicht vollständig.
2) Sie verwandeln die geradlinige Polarisation des einfallenden Bündels in eine elliptische.
3) Der Gangunterschied der Hauptstrahlen erleidet dieselben Veränderungen wie bei den Metallen zwischen denselben Gränz-Incidenzen.

Vom theoretischen Gesichtspunkt aus haben diese Schlüsse

Digitized by Google

eine groſse Wichtigkeit. Wir werden jedoch bald zeigen, daſs die Fresnel'schen Formeln die Intensitäten des reflectirten Lichts mit einer für die Praxis hinlänglichen Genauigkeit ausdrücken; allein wir sehen nun auch, daſs sie eines der wichtigsten Reflexionsphänome, das der Phasenveränderung nämlich, keineswegs voraussehen; sie verlieren dadurch den Charakter der Allgemeinheit und hören auf der rationelle Ausdruck des Phänomens zu seyn. Wir werden uns weiterhin mit theoretischen Ausdrücken beschäftigen, durch welche sie ersetzt werden müssen; für den Moment wollen wir uns mit den angedeuteten Phänomenen im Detail beschäftigen. Um keinen Irrthum in den Worten zu hinterlassen, wollen wir *Winkel des Polarisationsmaximum* oder *Hauptincidenz* diejenige Incidenz nennen, welcher man ehedem mit dem Namen *Polarisationswinkel* belegte.

II. Maaſs der Intensität und der Phase der reflectirten Strahlen.

Wir werden bald erkennen, daſs die elliptische Polarisation nur nahe beim Winkel des Polarisationsmaximums merklich ist, und daſs der Unterschied zwischen den Phasen zweier Hauptstrahlen von π bis 2π variirt zwischen Incidenzen, von denen die erstere kleiner und die letztere gröſser als die der Polarisation ist, und die nur um einige Grade verschieden sind. Auch führt die geringste Veränderung der Neigungen zu einer sehr groſsen in der Phase, und der schwächste Fehler in der Bestimmung zu groſsen Unrichtigkeiten in den Resultaten. Zu dieser ersten Schwierigkeit der Versuche, die wir unternehmen wollen, gesellt sich eine zweite. Bei den dem Polarisationsmaximum nahen Incidenzen erreicht der winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirte Strahl eine so schwache Intensität, daſs er bisher als Null betrachtet wurde, während der in der Einfallsebene polarisirte Strahl einen sehr groſsen Werth behält. Ist es nun bis zu einem gewissen Punkt leicht, bei zwei rechtwinklig polarisirten Strahlen von gleicher Intensität den Phasenunterschied zu messen, so ist es andererseits viel

unbequemer, wenn eine der Componenten fast Null ist, weil dann deren Wirkung fast verschwindet; auch habe ich die bisher zur Messung der Phasen vorgeschlagenen Methoden ohne Erfolg angewandt und mich genöthigt gesehen neue Apparate zu construiren. Folgende Methode ist mir gelungen.

Ich wende zu diesen Versuchen das Instrument an, welches mir zu meinen Versuchen über die Metalle gedient hat und mit vieler Sorgfalt von Hrn. Soleil verfertigt worden ist. Es besteht aus einem horizontalen Kreise MNL (Taf. III. Fig. 3), versehen in seinem Centro mit einer Tafel, welche die reflectirenden Platten, mit etwas Wachs befestigt, aufnimmt, und mittelst einer die Neigungen auf dem Kreise angebenden Alhidade L beweglich ist. Das Licht wird polarisirt durch ein Nicol'sches Prisma, das in eine feste auf das Centrum gerichtete Röhre EF eingelassen, und zur Messung der Azimute des einfallenden Lichts mit einem getheilten Kreise GH versehen ist.

Der reflectirte Strahl wird aufgenommen von einer zweiten Röhre AB, die von einer beweglichen Alhidade getragen wird und wie die erste mit einem Verticalkreise und einem Nicol'schen Prisma versehen ist; sie trägt überdieſs an ihrem, dem Centro zugewandten Ende einen Apparat, mittelst dessen die elliptische Polarisation des reflectirten Bündels auf die geradlinige zurückgeführt werden kann, nämlich einen Compensator, dessen Princip früher von Hrn. Babinet beschrieben wurde, und den ich zu einem Meſsapparat umwandelte, indem ich ihm ein angemessenes Graduirungssystem hinzufügte.

Es besteht, wie es sein horizontaler Durchschnitt Taf. III. Fig. 4 zeigt, aus zwei, der Axe parallelgeschnittenen und über Kreuz gelegten Quarzplatten ABC und ADC. Die Platten sind schwach prismatisch und der dickere Theil der einen liegt auf dem dünneren der anderen. Die in dem ersteren ordentlich und auſserordentlich gebrochenen Strahlen werden es in dem zweiten auſserordentlich oder ordentlich, nehmen Gangunterschiede von entgegengesetztem Zeichen

chen

Digitized by Google

chen an und erzeugen bei ihrem Austritt eine Interferenz durch bloſsen Unterschied der in den beiden Lamellen durchlaufenen Strecken.

Das Prisma *ADC* ist an einem in die Bahn des reflectirten Strahls gebrachten Kupferrohr unveränderlich befestigt; das Prisma *ABC* dagegen ist horizontal verschiebbar durch eine Mikrometerschraube, deren getheilter Kopf ein Zweihundertel eines Millimeters schätzen läſst (Taf. III. Fig. 5). In der Mitte des Gesichtsfeldes sind, etwa 1 Millimeter von einander, zwei sehr feine Fäden *NN'* ausgespannt, welche dazu dienen, in dem Apparat die Richtung der reflectirten Strahlen zu bestimmen. (Fig. 4.)

Lassen wir auf diesen Apparat einen Lichtstrahl fallen, der um $+45^{\circ}$ gegen die Axen des Compensators polarisirt, und ursprünglich durch das Nicol'sche Ocularprisma ausgelöscht ist. Wenn die Quarzplatten sich in der anfänglichen, durch die Figur angedeuteten Lage befinden, so werden die Quarzdicken zwischen den beiden Fäden *N* und *N'* gleich seyn, die beiden Componenten, die ordentliche und die auſserordentliche, haben nach dem Durchgange durch diesen Theil des Compensators keinen Gangunterschied, und das in der ursprünglichen Ebene polarisirt gebliebene Licht fährt fort durch das Nicol'sche Ocularprisma ausgelöscht zu seyn. Man hat sonach eine dunkle Franse zwischen den beiden Fäden.

Verschiebt man das Prisma *ABC* von *B* nach *A*, so wird seine Dicke vorwaltend, und die beiden Strahlen, welche den zwischen den beiden Fäden liegenden Raum durchlaufen haben, erlangen einen Gangunterschied, der allmälig von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$ wächst. Ist diese Gränze erreicht, so wird das Licht auf die geradlinige Polarisation im Azimut -45° zurückgeführt, und dreht man den Zerleger um 90 Grad, so erhält man genau zwischen den Fäden eine dunkle Franse.

Bei Anwendung eines homogenen Lichts erhält man sehr dünne, ganz schwarze Fransen; es ist dann sehr leicht, die Gränzlagen zu finden, bei welchen der Gangunterschied 0 oder $\frac{1}{2}\lambda$ ist, und die entsprechenden Stellungen der Mikro-

Digitized by Google

meterschraube aufzuzeichnen. Arbeitet man mit weiſsem Licht, so kann man, obwohl dann die Fransen gefärbt sind, auch noch diese Bestimmung mit Genauigkeit machen, wenn man als Vergleichungspunkt die zwischen dem Blau und dem Violett der Franse liegende Farbe nimmt.

In meinem Apparat stellen sich die mittliche und die seitlichen Fransen in die Mitte der Fäden bei folgenden Lagen des Mikrometers:

			Abstand der Fransen.
Franse	rechts	32,45	12,75
do.	in der Mitte	19,70	
do.	links	7,05	12,65
		Mittel	12,70.

Offenbar werden, wenn man von der anfänglichen, in der Figur angedeuteten Stellung ausgeht, die Gangunterschiede a der zwischen den Fäden durchgelassenen Strahlen proportional der Verschiebung d wachsen, und ausgedrückt seyn durch einen Bruch von halben Wellen, der gleich ist dem Bruch von Fransenbreiten, der diese Verschiebung bezeichnet. Man wird also haben:

$$a = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{d}{12{,}70.}$$

In meinem Apparat ist die Axe des beweglichen Prisma ABC horizontal, und weil der Quarz negativ ist, hat der ordentliche, horizontal d. h. in der Einfallsebene polarisirte Strahl eine gröſsere Geschwindigkeit als der auſserordentliche Strahl, welcher winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist. Wir werden diesen Gangunterschied als positiv betrachten.

Wenn wir dagegen das vordere Prisma von A nach B d. h. von links nach rechts verschieben, so wird seine Dicke zwischen den Fäden geringer als die des festen Prismas; wir haben wieder einen Gangunterschied, der sich wie der frühere berechnen läſst, aber negativ ist. Er wird das Zurückbleiben des in der Einfallsebene polarisirten Strahls gegen den winkelrecht darauf polarisirten Strahl ausdrücken. Wir nehmen ihn als negativ.

Digitized by Google

Wir haben also einen in die Bahn des reflectirten Strahles eingeschalteten Apparat, welcher erlaubt zwischen den beiden Componenten der Bewegung einen von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$ gehenden Gangunterschied herzustellen, der durch die Verstellung der Mikrometerschraube leicht zu messen ist. Diese giebt $\frac{1}{200}$ Millimeter oder $\frac{1}{200.12,70}$ d. h. $\frac{1}{2540}$ der Fransenbreite und folglich der halben Wellenlänge an. Diese Annäherung, die man noch erhöhen könnte, ist vollkommen hinreichend.

Um diesen Apparat zum Studium der Reflexion anzuwenden, läſst man an der zu untersuchenden Substanz einen polarisirten Strahl reflectiren. Durch die Reflexion zerfällt er in zwei Vibrationen, eine horizontale und eine verticale, die verschiedene Amplituden und einen positiven oder negativen Gangunterschied x annehmen. Sie durchlaufen den Compensator, den man sich immer auf den zwischen den Fäden enthaltenen Theil reducirt denken muſs. Da die Richtung ihrer Bewegungen zu den Axen der beiden Quarze parallel oder winkelrecht ist, so ändern sie weder ihre Azimute noch das Verhältniſs ihrer Amplituden, und sie erleiden nur eine Phasenänderung, welche der durch die Reflexion bewirkten hinzutritt, wenn sie von gleichem Zeichen ist, oder sich von ihr subtrahirt, wenn sie entgegengesetztes Zeichen hat. In jedem dieser beiden Fälle kann man immer dem Compensator eine solche Stellung geben, daſs die Summe dieser Gangunterschiede einem Multiplum von $\frac{1}{2}\lambda$ gleich ist, und dann wird die Polarisation geradlinig. Dreht man den Zerleger in ein gehöriges Azimut, so erlöscht das Bild und man hat eine dunkle Franse zwischen den Fäden.

Es giebt nun zwei Bestimmungen zu machen. Man bringt die Franse genau zwischen die Fäden und zeichnet die Stellung des Mikrometers auf; dann sucht man, bei welchem Azimut des Zerlegers die Franse möglichst dunkel sey. Die erstere Bestimmung dient zur Auffindung der aus der Reflexion entspringenden Phase, die letztere zur Auffindung

16 *

Digitized by Google

des Intensitätsverhältnisses der beiden reflectirten Componenten. Gehen wir näher in die Sache ein.

Sey α das Azimut der einfallenden Polarisation; $\cos\alpha$ und $\sin\alpha$ sind dann die parallel und winkelrecht zur Einfallsebene polarisirten Componenten. Nach der Reflexion sind sie $I\cos\alpha$ und $J\sin\alpha$, und da der Compensator nichts anderes thut, als sie auf eine, einem Multiplum von $\frac{1}{2}\lambda$ gleiche Phase zurückzuführen, so stellen sie einen polarisirten Strahl wieder her, dessen direct gemessenes Azimut β das Verhältniſs $J\sin\alpha : I\cos\alpha$ zur Tangente hat. Also

$$\operatorname{tang}\beta = \frac{J}{I}\operatorname{tang}\alpha, \qquad \frac{J}{I} = \frac{\operatorname{tang}\beta}{\operatorname{tang}\alpha}$$

Die Bestimmung des Intensitätsverhältnisses der in den Hauptazimuten polarisirten Strahlen geschieht also dadurch, daſs man die Richtnng des zerlegenden Prismas sucht, welche der Franse das Maximum ihrer Schärfe giebt. Obgleich die Anwendung des Sonnenlichts diese Bestimmung erleichtert, so führt sie immer eine ziemlich groſse Strecke von Fehlern mit sich; allein in der Berechnung von $\frac{J}{I}$ sind die Fehler, welche $\operatorname{tang}\beta$ anhaften, dividirt durch $\operatorname{tang}\alpha$, und der Experimentator hat es in seiner Macht sie durch Vergröſserung des Winkels α auf einen kleinen Werth zu reduciren. Bei allen meinen Versuchen war der Winkel α gleich 84°, seine Tangente war also 9,504, und wenn man also in der Messung von β einen Fehler von 4 Grad voraussetzte, was ungeheuer wäre, würde er das Verhältniſs $\frac{J}{I}$ nur um 0,007 ändern.

Die andere Bestimmung besteht darin, die dunkle Franse in die Mitte beider Fäden zu führen und die Verstellung d des Mikrometers zu messen; sie geschieht mit einer von der guten Construction des Apparates abhängigen Genauigkeit und ohne ernstliche Fehler einzuführen. Den vom Compensator bewirkten Gangunterschied a berechnet man dann mittelst der schon angeführten Formel:

$$a = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{d}{12{,}70}$$

Digitized by Google

Er ist positiv, wenn der Compensator von B nach A d. h. rechts ging, und negativ, wenn er im umgekehrten Sinn verschoben wurde. Diese Bestimmung lehrt, daſs wenn der reflectirte Strahl den Compensator zwischen den Fäden durchlaufen hat, die Polarisation wieder geradlinig, d. h. die Summe der Gangunterschiede $(x+a)$ ein Multiplum von $\frac{1}{2}\lambda$ geworden ist. Allein *a priori* kann man weder das Zeichen von $x+a$, noch den Werth dieses Multiplums wissen. Setzen wir also:

$$x+a=\pm n\tfrac{1}{2}\lambda$$

und suchen n zu bestimmen.

Wir wissen, daſs, wenn wir einen bei $+45^\circ$ gegen die Einfallsebene polarisirten Strahl reflectiren lassen, er bei der senkrechten und der streifenden Incidenz seine geradlinige Polarisation behält, und daſs mithin die Tangenten vom Azimut des reflectirten Strahls das Verhältniſs der Hauptvibrationen ausdrücken.

Bei der normalen Incidenz ist das Azimut des reflectirten Strahls gleich -45°, und dann haben die beiden Componenten entgegengesetztes Zeichen. *Sie haben also einen Gangunterschied gleich* $\frac{1}{2}\lambda$.

Ist dagegen die Reflexion eine streifende, so ist der reflectirte Strahl bei $+45^\circ$ polarisirt, und die beiden Hauptvibrationen haben einen Gangunterschied gleich Null oder gleich λ. Nun ist es nicht möglich, durch den Versuch zwischen diesen beiden Hypothesen zu entscheiden; allein um uns den theoretischen Ideen, die bald discutirt werden sollen, anzubequemen, wollen wir annehmen, *der Gangunterschied sey bei der streifenden Incidenz gleich* λ.

Ohne mithin etwas über das Zeichen von x zu entscheiden, sagen die obigen Bemerkungen, daſs diese Gröſse zwischen $\frac{1}{2}\lambda$ und λ liegt; und da der Compensator einen anderen Gangunterschied a, der von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$ schwanken kann, einführt, so liegt die algebraische Summe $(x+a)$ dieser beiden Gröſsen immer zwischen 0 und $\frac{3}{2}\lambda$, und da sie diese Gränzen nur bei den extremen Incidenzen errei-

Digitized by Google

chen kann, so wird allemal, wenn die Polarisation hergestellt ist, die Summe $x+a$ gleich seyn $\frac{1}{2}\lambda$ oder $\frac{3}{2}\lambda$.

$$x+a=\pm\begin{cases}\frac{1}{2}\lambda\\ \frac{3}{2}\lambda\end{cases}$$

Wenn die totale Interferenz $\pm\frac{1}{2}\lambda$ ist, wird eine der Componenten des vom Zerleger aufgefangenen polarisirten Strahls das Zeichen gleichzeitig mit dem Azimut des reflectirten Strahls gewechselt haben. Ist dagegen $x+a$ $\pm\frac{3}{2}\lambda$, so bleibt das Azimut des Strahls in demselben Quadranten vor und nach der Reflexion. Man weiſs also in allen Fällen, ob man die eine oder die andere der beiden Gleichungen:

$$x+a=\pm\tfrac{1}{2}\lambda,\quad x+a=\pm\tfrac{3}{2}\lambda$$

zu gebrauchen habe.

Was die aus dem doppelten Zeichen entspringende Unsicherheit betrifft, so verschwindet sie bei Untersuchung der besonderen Umstände der zu prüfenden Substanzen, und wir werden sehen, daſs diese doppelte Lösung den beiden verschiedenen Fällen entspricht, welche die zu studirenden Substanzen unterscheiden.

Ich arbeitete zunächst mit einer Platte von gemeinem Opal. Die Erfahrung zeigt, daſs die Polarisation vollkommen geradlinig ist bei der streifenden Incidenz, und daſs sie es bleibt bei verringerter Schiefe der Reflexion bis zu einer Incidenz, die wenig gröſser als der Winkel des Polarisationsmaximum ist; alsdann fängt die Franse an, nicht mehr in der Mitte beider Fäden zu liegen, und wenn man sie dahin zurückführt, indem man das Mikrometer von der Rechten zur Linken verschiebt, so wächst der Gangunterschied a allmälig in dem Maaſse als die Incidenz abnimmt; sie wird bei der Hauptincidenz gleich $\frac{1}{4}\lambda$ und erreicht bei einer wenig geringeren Incidenz den Werth $\frac{1}{2}\lambda$. Nach dem Sinn, in welchem der Compensator verschoben worden, ist a positiv; überdieſs haben die Polarisationsazimute des von der Platte reflectirten und durch den Compensator gegangenen Strahls gleiches Zeichen wie vor der Reflexion; mithin hat man:

$$x + a = \pm \tfrac{2}{2}\lambda, \quad x = \pm \tfrac{2}{2}\lambda - a$$

und die Werthe von x bei den drei Incidenzen, der streifenden, der hauptsächlichen und der lothrechten, sind

$$\pm \tfrac{2}{2}\lambda, \ \pm \tfrac{2}{2}\lambda - \tfrac{1}{4}\lambda, \ \pm \tfrac{2}{2}\lambda - \tfrac{1}{2}\lambda$$

oder

$$+\lambda, \quad +\tfrac{3}{4}\lambda, \quad +\tfrac{1}{2}\lambda$$
$$-\lambda, \quad -\tfrac{5}{4}\lambda, \quad -\tfrac{3}{2}\lambda$$

Die Hypothese vom Zeichen — genügt nicht den Gränzbedingungen, muſs also verworfen werden.

Zu demselben Schluſs gelangt man auf folgende Weise. Beginnt man mit der lothrechten Incidenz und vergröſsert allmälig die Schiefe der Fläche, so beginnt die zuvor in ihre anfängliche Lage gebrachte Franse sich bei einer gewissen Incidenz zu verschieben und sie stellt sich wieder zwischen die Fäden, wenn man den Compensator von der Linken zur Rechten bewegt. Dann ist a negativ und geht durch die Werthe -0, $-\tfrac{1}{4}\lambda$, $-\tfrac{1}{2}\lambda$. Das Azimut des ausfahrenden, auf die ebene Polarisation zurückgeführten Strahls ist alsdann dem des einfallenden Strahls im Zeichen entgegengesetzt; man muſs nun die Relation nehmen

$$x + a = \pm \tfrac{1}{2}\lambda$$

woraus für die drei Incidenzen, die streifende, die hauptsächliche und die lothrechte, die folgende Werthe von x hervorgehen:

$$\lambda, \quad \tfrac{3}{4}\lambda, \quad \tfrac{1}{2}\lambda$$
$$-0, \quad \tfrac{1}{4}\lambda, \quad -\tfrac{1}{2}\lambda.$$

Durch Combination dieser Versuchsreihe mit der vorherigen findet man vier Lösungen, von denen zwei, nämlich die dem + Zeichen entsprechenden, gemeinschaftlich sind, während die beiden anderen einer einzigen der beiden Reihen genügen; sie entsprechen dem — Zeichen und müssen verworfen werden. Man muſs also schlieſsen:

1) daſs x positiv ist d. h. daſs der in der Einfallsebene polarisirte Strahl dem winkelrecht darauf polarisirten Strahl voraus ist.

2) daſs der Gangunterschied von der lothrechten bis zur streifenden Incidenz von $\tfrac{1}{2}\lambda$ bis λ zunimmt, und beim

Digitized by Google

Winkel des Polarisationsmaximums den Werth $\frac{3}{4}\lambda$ annimmt.

Folgendes sind die Resultate der Versuche mit dem Feueropal:

Incidenzen.	Mikrometer.	Verschiebung der Fransen.	Gangunterschied x.	β.	Verhältn. d. Amplituden.
90° 0′	19,70	+ 0	+ 2,000	84° 00′	1,0000
60 0	22,20	+ 2,50	+ 1,843	27 30	0,0738
59 45	22,50	+ 2,80	+ 1,810	24 30	0,0680
59 30	23,07	+ 3,37	+ 1,734	21 30	0,0617
59 15	23,46	+ 3,76	+ 1,703	19 30	0,0372
59 0	23,92	+ 4,22	+ 1,666	18 0	0,0331
58 45	24,65	+ 4,95	+ 1,609	16 30	0,0312
58 30	25,40	+ 5,70	+ 1,540	16 0	0,0302
58 22	26,08	+ 6,32	+ 1,500	15 0	0,0281
58 15	26,65	+ 6,95	+ 4,155	15 15	0,0287
58 0	27,38	+ 7,68	+ 1,397	16 45	0,0316
57 45	28,14	+ 8,44	+ 1,337	17 0	0,0321
57 30	28,47	+ 8,97	+ 1,295	19 0	0,0362
57 0	29,62	+ 9,92	+ 1,220	22 45	0,0441
56 30	30,34	+ 10,64	+ 1,163	30 0	0,0620
56 0	30,59	+ 10,89	+ 1,143	32 30	0,0670
0 0	32,45	+ 12,70	+ 1,000	84 0	1,0000

In dieser Tafel sind die Lagen und Verschiebungen der Fransen ausgedrückt durch die Einheit des Schraubenganges, der annähernd einem halben Millimeter gleich ist, und die Gangunterschiede sind in Function der halben Wellenlänge berechnet. Man wird bemerken, daſs die Azimute β, und folglich das Verhältniſs der beiden Componenten nicht durch den Werth Null geht, sondern durch einen Minimumwerth von 15°, welchen es erreicht, wenn der Gangunterschied gleich $\frac{3}{4}\lambda$ ist. Es ist demnach hinreichend klar, daſs die Polarisation niemals vollständig, daſs sie vielmehr elliptisch ist zwischen Incidenzen, die von 56 bis 60° gehen, d. h. sehr wenig vom Polarisationswinkel abweichen.

Nicht alle in der Natur vorkommenden Substanzen befolgen die eben aufgefundenen Gesetze. Es giebt einige, die sich von anderen durch eine optische Eigenschaft unterscheiden, die so sonderbar ist, daſs man sie wohl nicht erwarten würde. Ich nehme hier als Beispiel den Hyalith oder durchsichtigen wasserhaltigen Quarz.

Wenn man die Incidenz von 90° bis 0° abnehmen läſst, so geht die centrale Franse aus dem Zwischenraum der Fäden fort, und um sie dahin zurückzuführen, muſs man den Compensator von links nach rechts bewegen; der Gangunterschied *a* ist demnach negativ und wächst von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$. Das Azimut des ausfahrenden Strahls hat gleiches Zeichen wie das des einfallenden Strahls, und die Gleichung

$$x = \pm \tfrac{3}{2}\lambda - a$$

giebt successive

$$+\lambda,\ +\tfrac{5}{4}\lambda,\ +\tfrac{3}{2}\lambda$$
$$-\lambda,\ -\tfrac{3}{4}\lambda,\ -\tfrac{1}{2}\lambda.$$

Die Hypothese des — Zeichens gehört bloſs zu den für die Gränzen aufgestellten Bedingungen, und man muſs schlieſsen, daſs die in der Einfallsebene polarisirte Vibration nicht mehr einen Vorsprung, sondern einen Verzug erlitten hat, der numerisch dieselben Werthe λ, $\frac{1}{2}\lambda$ an den Gränzen der Incidenz, und $\frac{3}{4}\lambda$ bei der Hauptincidenz durchläuft. Hier das Detail der Versuche:

Hyalith.

Incidenzen.	Lage des Mikrometers.	Verschiebung der Fransen.	Gangunterschied *x*.	β.	Verhältniſs der Amplituden.
90° 0′	19,70	— 0,00	— 2,000	84° 0	1,0000
56 0	18,97	— 0,73	— 1,924	18 0	0,0342
55 30	18,40	— 1,30	— 1,898	11 30	0,0214
55 15	17,77	— 1,93	— 1,850	5 37	0,0105
55 0	15,15	— 4,55	— 1,641	4 22	0,0080
54 52	13,38	— 6,32	— 1,500	4 6	0,0075
54 45	11,22	— 8,53	— 1,329	4 15	0,0078
54 30	9,30	— 10,45	— 1,177	8 0	0,0148
54 15	8,82	— 10,93	— 1,140	10 56	0,0203
53 30	8,22	— 11,53	— 1,092	18 30	0,0352
0	7,05	— 12,70	— 1,000	84 0	1,0000

Vergleicht man die Angaben des Mikrometers in dieser und der vorhergehenden Tafel, so sieht man, daſs sie sich in umgekehrtem Sinn verändern d. h. daſs die Franse, während sie im Opal sich in einer Richtung verschiebt, in dem Hyalith in entgegengesetzter Richtung wandert. Es ist also unzweifelhaft daſs die von der Reflexion erzeugten Gang-

unterschiede in beiden Substanzen entgegengesetztes Zeichen besitzen.

Es ist zweckmäſsig, die beiden so eben an der Lichtreflexion erkannten Wirkungsweisen durch besondere Namen zu unterscheiden. Wir schlagen vor, *positiv reflectirende Substanzen* diejenigen zu nennen, welche, wie der Opal, die Schwingungsknoten der in der Einfallsebene polarisirten Componente vorrücken, und *negativ reflectirende Substanzen* diejenigen, welche dieselben zurückschieben.

Allein auſser diesen beiden Reflexionsreihen giebt es, wie leicht vorauszusehen, noch eine dritte, nämlich diejenige, bei welcher die beiden Componenten des reflectirten Bündels dieselbe Phase nach der Reflexion behalten. Dieser Fall ist der seltenste und kann als bloſs durch ganz eigenthümliche Umstände veranlaſst angesehen werden; allein er kommt doch bei einigen Körpern vor. Ich will nur zwei davon anführen. Der erste ist ein Exemplar vom Menilith und der andere ein gegen die Octaëderaxe senkrecht geschnittener Alaunkrystall. Ich kann indeſs nicht behaupten, daſs sich am reflectirten Strahl keine Spur von Ellipticität zeige, sondern nur sagen, daſs sie zu schwach war, um gemessen werden zu können.

Die zahlreichen Versuche, welche ich an Substanzen von sehr verschiedener Natur und Brechkraft ausgeführt habe, berechtigen mich, die Wirkungsweise derselben auf das Licht in allgemeiner Weise auszudrücken. Denkt man sie sich nach abnehmenden Werthen ihres Brechungsindexes geordnet, so findet man an der Spitze der Liste die Metalle, bei denen die Polarisation des reflectirten Strahles elliptisch ist von der lothrechten bis zur streifenden Incidenz, d. h. der Gangunterschied stetig abnimmt zwischen diesen Gränzen, von $\frac{1}{2}\lambda$ bis λ. Bei den durchsichtigen Substanzen findet man auch noch den Gangunterschied in stetiger Weise abnehmen von $\frac{1}{2}\lambda$ bis λ zwischen zwei Incidenzen, deren erstere kleiner, und deren zweite gröſser ist als der Winkel des Polarisationsmaximums, während er für geringere oder gröſsere Incidenzen constant

Digitized by Google

und gleich $\frac{1}{2}\lambda$ oder λ bleibt; folglich ist die Polarisation nach der Reflexion auſserhalb dieser Gränzen geradlinig, und zwischen denselben elliptisch. In dem Maaſse als der Refractionsindex abnimmt nähern sich im Allgemeinen diese Gränzen, weichen immer weniger von einander ab, und fallen endlich mit einander und mit der Hauptincidenz zusammen. Dieser Fall verwirklicht sich bei einem Brechungsindex von annähernd dem Werth 1,46. Alsdann geschieht die Aenderung der Phase von $\frac{1}{2}\lambda$ zu λ plötzlich; das ist der Fall der Fresnel'schen Formeln. Alle in den ersten Theil der Reihe kommende Substanzen sind positiv reflectirende; allein wenn wir den Index weiter abnehmen lassen, sehen wir wieder eine Phasendifferenz auftreten, doch mit einer negativen Reflexion. Alle Substanzen, deren Index kleiner ist als 1,46, scheinen in diese letztere Kategorie zu fallen; doch muſs ich bemerken, daſs ich, weil die Einrichtungen meines Apparats mir nicht erlaubt haben, Flüssigkeiten auf diese Probe zu stellen, nur eine geringe Anzahl schwach brechender Substanzen zu untersuchen vermochte, und daſs, wenn ich auch durch die Gleichförmigkeit der bei ihnen beobachteten Wirkung zur Aufstellung dieser Relation berechtigt bin, die geringe Zahl derselben mich doch veranlaſst, sie mit allem möglichen Vorbehalt zu geben, erwartend, daſs zahlreichere Beispiele sie entweder bestätigen oder widerlegen.

Wichtig ist, den Werth der Hauptincidenz zu kennen. Bisher begnügte man sich, den Polarisationswinkel durch Verfahren zu messen, deren einfachstes darin bestand, daſs man einen natürlichen Strahl reflectiren lieſs und den Winkel aufsuchte, der ihn in der Einfallsebene polarisirte. Diese Bedingung, welche indeſs fast niemals vollständig ist, sondern es nur zu seyn scheint, wegen der geringen Empfindlichkeit des Auges und der geringen Intensität des reflectirten Lichts, identificirt den Polarisationswinkel mit der Hauptincidenz und erlaubt das eben erwähnte Verfahren zu ersetzen durch die unvergleichlich genauere Messung der Incidenz, bei der die Interferenz gleich $\frac{3}{4}\lambda$ ist. Man stellt den

Compensator zuvörderst so, daſs zwischen den Fäden ein Gangunterschied von $\frac{1}{4}\lambda$ hervorgebracht wird, und sucht dann die Incidenz, bei welcher die Polarisationsfranse sich wieder in ihre Mitte stellt. Dieſs wird die Hauptincidenz seyn, und da bekanntlich in der Nähe dieses Winkels die geringsten Inclinationsveränderungen eine groſse Aenderung in dem Phasenunterschied herbeiführen, so geschieht die Bestimmung mit vollkommner Genauigkeit.

Die Versuche, deren Princip ich so eben kenne[illegible] haben nicht allein den Zweck, die Gangunterschi[illegible] schen winkelrecht und parallel zur Einfallsebene [illegible] ten Strahlen zu messen, sondern auch das Verhäl[illegible] rer Amplituden. Folgendes sind die allgemeinen [illegible] zu denen man gelangt. Für alle positiv oder ne[illegible] flectirende Substanzen ist dieſs Verhältniſs bei d[illegible] rechten und der streifenden Incidenz gleich eins. [illegible] len nimmt es ab bis zum Polarisationswinkel, w[illegible] Minimum ist. Sein Werth bei dieser Incidenz [illegible] messen durch die allgemeine Formel:

$$k = \frac{\mathrm{tang}\,\beta}{\mathrm{tang}\,\alpha}.$$

Um sich der Genauigkeit der Resultate zu versic[illegible] polarisirt man das Licht successiv in verschiedenen, immer sehr groſsen Azimuten α, α', α'', sucht die ent[illegible] chenden Werthe von β, und leitet aus den Mitteln Werth von k nach der obigen Relation ab.

Offenbar ergiebt sich aus diesen Bemerkungen, daſs Reflexionsgesetze sich aus dem bloſsen Werth der H[illegible] incidenz nicht ableiten lassen, und daſs man das A[illegible] tudenverhältniſs k bei diesem Winkel als zweite Cons[illegible] einführen muſs. Man wird diese Gröſsen in der Tafel Schlusse dieser Abhandlung finden, und folgende Be[illegible] kungen machen können.

Im Allgemeinen nimmt das Verhältniſs k ab mit dem Brechungsindex, jedoch zeigt die Tafel einige Ausnahmen von diesem Gesetz. Kalkspath, Turmalin, Steinkohle, gewisse Flintgläser, deren Indices nicht sehr hoch sind, be[illegible]

Digitized by Google

sitzen eine sehr elliptische Polarisation; während Blende, Diamant, Antimonglas und Spinell mit einer starken Brechkraft die Eigenschaft vereinigen, das Licht wenig elliptisch zu polarisiren. Dieses, von einigen Personen in Zweifel gezogene Resultat bietet indeſs nichts Widersprechendes dar. Freilich ist die elliptische Polarisation längst beim Diamant nachgewiesen, ohne daſs man sie beim Kalkspath geahnet hat, wo sie viel gröſser ist; allein man muſs erwägen, daſs der Diamant wegen seiner hohen Brechkraft einen sehr groſsen Antheil vom Licht reflectirt, während der Kalkspath, dessen Index kleiner ist, eine geringere Lichtmenge zurückwirft. Um den Grad der Ellipticität bei zwei Substanzen zu vergleichen, müſste man die reflectirten Strahlen zuvörderst gleich machen, und dann würde die Probe nicht zweifelhaft seyn.

Ein experimentelles Gesetz, welches von Brewster entdeckt, von Fresnel's Formeln gerechtfertigt und von Seebeck mit der ängstlichsten Sorgfalt bestätigt worden ist, hat bisher festgestellt, daſs die Tangente des Polarisationswinkels gleich ist dem Brechungsindex. Dieſs Gesetz gilt auch numerisch für die Hauptincidenz, wenigstens vermag ich nicht zu sagen, ob die Abweichungen, welche man beobachtet, der Unrichtigkeit des Gesetzes, oder den Oberflächenveränderungen, deren Einfluſs Seebeck erkannt hat, zugeschrieben werden müssen. Ich werde übrigens auf den Gegenstand zurückkommen.

Die in der Tafel aufgeführten Zahlen dürfen nicht als charakteristisch für die genannten Substanzen, sondern nur als gültig für die beobachteten Individuen derselben betrachtet werden. Ich habe freilich gefunden, daſs sie bei Körpern von recht constanter Molecularbeschaffenheit und chemischer Zusammensetzung keine groſse Schwankungen erleiden; allein gewisse andere zeigen merkwürdige Aenderungen mit den Molecular-Modificationen. So habe ich vom Schwefel nicht zwei identische Stücke gefunden; interessant wäre es die Moleculartransformationen desselben in den optischen Eigenschaften zu verfolgen.

Digitized by Google

Die Färbung einer Substanz, die Compression oder Dilatation derselben, die Härtung oder Enthärtung, die Politur und überhaupt irgend welche Veränderung in ihrem Zustand, sind eben so viele Ursachen zu Veränderungen der optischen Erscheinungen. Ich habe mir vorgenommen sie ausführlich zu studiren, begnüge mich indeſs für den Moment damit, das allgemeine Gesetz aufzustellen, ehe ich es in seinen Modificationen verfolge.

Ich habe geglaubt durch einige Beispiele zeigen zu müssen, daſs die krystallisirten durchsichtigen Körper sich nicht dem allgemeinen Gesetz der elliptischen Polarisation entziehen. Ich habe sie immer senkrecht gegen ihre Symmetrie-Axe geschnitten. Es ist kaum nöthig zu sagen, daſs jede andere Richtung beim Versuche andere Resultate giebt, und daſs der Werth der Constanten eine sehr complicirte Function ist, die gemeinschaftlich durch den Versuch und durch die mathematische Theorie aufgesucht werden muſs.

III. Vergleich der Resultate mit der Theorie des Hrn. Cauchy.

Nach Fresnel hat Hr. Cauchy, ohne von einem hypothetischen Postulate auszugehen, in den *Comptes rendus* von 1839, eine allgemeine Theorie der Reflexion im Abriſs veröffentlicht. Es ist Sache dieses gelehrten Mathematikers die Grundsätze, welche ihn geleitet, zu entwickeln, und somit einen längst von den Physikern gehegten Wunsch zu erfüllen; was mich betrifft, so werde ich mich begnügen, seine Resultate zu discutiren und sie mit denen der Erfahrung zu vergleichen.

In einer ersten Formel:

$$\frac{J^2}{I^2} = \operatorname{tang}^2 \omega = \frac{\cos^2(i+r) + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin^2(i+r)}{\cos^2(i-r) + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin^2(i-r)} \ldots \quad (1)$$

bedeutet ω ein Azimut, dessen Tangente gleich ist dem Amplitudenverhältniſs der Componenten der reflectirten Bewegung; i und r haben die gewöhnliche Bedeutung, und ε ist eine allgemein sehr kleine Constante, welcher wir den Namen *Elliptícitätscoëfficienten* geben wollen.

Digitized by Google

Der Phasenunterschied δ berechnet sich durch die Relationen:

$$\delta = \delta' + \delta'' + \begin{cases} \pi & \text{wenn } i+r < 90^\circ \\ o & \phantom{\text{wenn }} i+r > 90^\circ \end{cases}$$

$$\operatorname{tang}\delta' = \varepsilon \sin i \operatorname{tang}(i+r), \quad \operatorname{tang}\delta'' = \varepsilon \sin i \operatorname{tang}(i-r).$$

Wäre $\varepsilon = 0$, würden obige Formeln:

$$\delta = \begin{cases} \pi & \text{wenn } i+r < 90^\circ \\ 2\pi & \phantom{\text{wenn }} i+r > 90^\circ \end{cases} \qquad \operatorname{tang}\omega = \frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$$

und man käme auf die Fresnel'sche Formel zurück.

Als Hr. Cauchy diese Resultate veröffentlichte, nahm man an, der allgemeine Fall der Reflexion sey der der das Licht vollkommen polarisirenden Substanzen, und man kannte nur eine höchst geringe Anzahl sehr stark brechender Körper mit elliptischer Polarisation. Diese experimentellen Gesetze wie alle Physiker annehmend, hatte Hr. Cauchy seine Formeln beschränkt und $\varepsilon = 0$ gesetzt; alsdann bemerkend, daſs sie mit den von Fresnel identisch werden, zog er daraus ein Argument zu Gunsten ihrer Genauigkeit; er lieſs ihnen daher ihre ganze Allgemeinheit für den als seltner betrachteten Fall, von welchem der Diamant den Typus abgab. Da es gegenwärtig erwiesen ist, daſs die vollständige Polarisation durch Reflexion ein bloſser Zufall ist, der sich nur in sehr seltenen Fällen und unter ganz eigenthümlichen Umständen der Brechbarkeit verwirklicht, so muſs man die Beschränkung, welche Hr. Cauchy seinen Formeln glaubte auflegen zu müssen, forträumen und ihnen die Allgemeinheit beilegen, die er damals nicht vermuthete. Wir müssen überdieſs bemerken, daſs gleich wie die in den obigen Formeln ausgesprochene Theorie nicht darüber entscheidet, wann die Polarisation geradlinig oder elliptisch sey, sie auch das Zeichen von δ unentschieden läſst, und der Versuch allein uns lehrt, daſs der Phasenunterschied zuweilen positiv, zuweilen zufällig Null, und zuweilen negativ ist. Die Theorie berechnet also das Intensitätsverhältniſs und den Phasenunterschied, bis auf das

Digitized by Google

Zeichen, welches sie nicht kennen lehrt. Wir haben nun zu untertersuchen, ob sie die numerischen Werthe dieser Gröſse liefere.

Da in der Formel (1) Zähler und Nenner gleich sind der Summe zweier Quadrate, die zugleich weder Null noch unendlich werden können, so wird tang ω niemals Null seyn, und der in der Einfallsebene polarisirte Strahl wird durch die Reflexion niemals vollkommen ausgelöscht, sondern nur geschwächt wenn $i+r$ sich 90^0 nähert, und er erreicht in der Nähe des Polarisationswinkels ein oft der Null sehr nahes Minimum. Läſst man von diesem Winkel aus die Incidenz zu- oder abnehmen, so wächst $\cos(i+r)$ und die sehr kleinen Glieder, die von ε abhängen, können im Zähler und Nenner fortgelassen werden, ohne daſs dadurch der Werth von tang ω merklich geändert wird. Für Incidenzen, die vom Polarisationswinkel entfernt sind, fällt also die Formel (1) mit der Fresnel'schen zusammen, und in keinem Fall weicht sie viel von ihr ab.

Nachdem man δ' und δ'' ersetzt hat, wird der Phasenunterschied gegeben seyn durch die Relation:

$$\frac{\varepsilon \sin i[\operatorname{tang}(i+r)+\operatorname{tang}(i-r)]}{1-\varepsilon^2 \sin^2 i \operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)} = \begin{cases} \operatorname{tang}(\delta-\pi) \\ \operatorname{tang}\delta \end{cases} \text{wenn} \begin{matrix} i+r<90^0 \\ i+r>90^0. \end{matrix}$$

Sobald $i=0$, $\delta=\pi$.

Läſst man i zunehmen, so wachsen $i+r$ und $i-r$, und δ überschreitet den ursprünglichen Werth π

δ erreicht den Werth $\frac{3}{2}\pi$ wenn i, bei fortwährendem Wachsen, der Bedingung genügt, die den Nenner vernichtet:

$$\operatorname{tang}(i+r) = \frac{1}{\varepsilon^2 \sin^2 i \operatorname{tang}(i-r)}.$$

tang$(i+r)$ wird positiv und sehr groſs seyn, $(i+r)$ also etwas kleiner als $\frac{1}{2}\pi$, und dieſs kommt darauf hinaus zu sagen, tang i sey kleiner als n aber ihm doch sehr nahe oder die Hauptincidenz etwas geringer als der durch das Brewster'sche Gesetz bestimmte Polarisationswinkel.

Wenn

Wenn $i+r=90^\circ$, hat man $\tang\delta=\frac{-1}{\varepsilon\sin i\tang(i-r)}$ und δ wird gröſser als $\frac{3}{2}\pi$, aber diesem Winkel sehr nahe seyn.

Endlich, wenn die Incidenz fortfährt bis 90° zu steigen, wird der Werth von $\tang\delta$ negativ bleiben und δ alle Werthe von $\frac{3}{2}\pi$ bis 2π annehmen.

Die Formeln des Hrn. Cauchy stellen, wie man sieht, alle Hauptumstände der Versuche dar; überdieſs machen sie eine Unterscheidung zwischen Hauptincidenz, für welche $\delta=\frac{3}{2}\pi$, und Polarisationswinkel, welche dem Fresnel'schen Gesetze $\tang i=n$ genügt. Die directe Messung des Unterschiedes zwischen diesen beiden Winkeln ist allein schon ein entscheidendes Argument zu Gunsten der Theorie; aber unglücklicher Weise geht dieser Unterschied in den meisten Fällen nicht über einige Sekunden, steigt beim Schwefelarsen kaum auf achtzehn Minuten, und entzieht sie daher seiner Kleinheit wegen den Messungen. Um die Frage zu entscheiden, müſste man nämlich direct den Brechungsindex messen, i mittelst der Relation $\tang i=n$ berechnen, dann den Winkel i' durch die Bedingung $\delta=\frac{3}{2}\pi$ aufsuchen und i mit i' vergleichen. Auſser dem doppelten Irrthum bei diesen zwei Bestimmungen, müſste man denjenigen ermitteln, welcher aus dem Zustand der Oberfläche entspringt. Seebeck hat nämlich gefunden, daſs die reflectirende Oberfläche eines Körpers nicht immer identisch dieselbe ist, daſs sie sich mit der Natur der zum Poliren angewandten Substanzen verändert, und auch mit der Zeit mehr oder weniger modificirt, so daſs es für jeden Körper zwei besondere Indices giebt, einen, der die Reflexion regelt, und einen, der die Refraction erzeugt. Inmitten dieser Thatsachen habe ich keine Verificationen versucht, die, selbst wenn sie sehr genau gewesen wären, hätten illusorisch seyn können und Einwürfe erhoben haben würden, deren Wucht mir vollkommen erwiesen ist.

Die beiden Constanten n und ε, deren Kenntniſs zur Berechnung der Formeln (1) und (2) nöthig ist, lassen sich ableiten aus der Hauptincidenz i und dem Amplitudenver-

Digitized by Google

hältniſs k, die wir schon gemessen haben. Weil $\delta = 90°$ hat man:

$$\varepsilon^2 \sin^2 i = \frac{1}{\operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}$$

und substituirt man dieſs in dem Werth von $\operatorname{tang}^2 \omega$

$$k^2 = \frac{\cos^2(i+r) + \dfrac{\sin^2(i+r)}{\operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}}{\cos^2(i-r) + \dfrac{\sin^2(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}}$$

$$= \frac{\cos(i+r)\sin(i+r)\sin(i+r)\cos(i-r) + \sin(i-r)\cos(i+r)}{\cos(i-r)\sin(i-r)\sin(i+r)\cos(i-r) + \sin(i-r)\cos(i+r)}$$

$$k^2 = \frac{\sin 2(i+r)}{\sin 2(i-r)} = \frac{\sin 2(i+r)}{\sin 2(i-r)}$$

und nach Entwicklung der Sinus und Reduction:

$$\operatorname{tang} 2r = \frac{k^2-1}{k^2+1} \operatorname{tang} 2i$$

woraus sich r und folglich n ergiebt; und der Werth von ε wird geliefert durch die Formel

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{\sin^2 i \operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}.$$

Für die Versuche zur Prüfung hatte ich Körper auszuwählen von sehr verschiedener Brechkraft, von der gröſsten bis zur kleinsten, Körper, die in ihrer Natur, Zusammensetzung und Farbe von einander abwichen, und dabei klar und vollkommen polirt waren. Ich wandte deren sechs an, nämlich: Schwefelarsenik, durchsichtige Blende, Diamant, ein Flintglas von 1,714 Brechungsindex, ein sehr schwach brechendes Glas und Fluſsspath (*fluorine*).

Hier zunächst die Versuche mit einem Schwefelarsenik, das wenig gefärbt, vollkommen durchsichtig und ziemlich homogen war. Die Beleuchtung dieses Apparats geschah in diesem Fall, aber nur in diesem einen, durch eine Carcel'sche Lampe, die zweckmäſsig mit Linsen und Reflectoren versehen war. Die normalen Fransen des Compensators hatten eine etwas gröſsere Breite (13,18) als beim Sonnenlicht. In der dritten und vierten Columne der Tafel habe ich nicht den Phasenunterschied, sondern die Interferenz

Digitized by Google

der reflectirten Componenten in Bruchtheil der halben Wellenlänge angegeben, was auf dasselbe hinausläuft, da die erstere Gröſse immer gleich ist dem Product der zweiten mit π.

Incidenz.	Verschieb. der Fransen.	$\frac{\delta}{\pi}$ beob.	$\frac{\delta}{\pi}$ ber.	Unterschied.	Incidenz.	Verschieb. der Fransen.	$\frac{\delta}{\pi}$ beob.	$\frac{\delta}{\pi}$ ber.	Unterschied.
85°	0,28	1,979	1,973	+0,006	63°	10,23	1,230	1,217	+0,013
83	0,51	1,962	1,961	+0,001	62	10,70	1,193	1,185	+0,008
81	0,65	1,951	1,947	+0,004	61	11,02	1,170	1,168	+0,002
79	0,97	1,927	1,929	−0,002	60	11,24	1,154	1,145	+0,009
77	1,32	1,901	1,907	−0,006	58	11,60	1,127	1,115	+0,012
75	1,61	1,879	1,875	+0,004	56	11,80	1,106	1,095	+0,011
73	2,17	1,837	1,828	+0,009	54	12,10	1,090	1,089	+0,001
72	2,66	1,800	1,795	+0,005	52	12,29	1,075	1,069	+0,006
71	3,29	1,753	1,752	+0,001	50	12,59	1,052	1,059	−0,007
70	4,06	1,694	1,696	−0,002	48	12,67	1,046	1,052	−0,006
69	5,17	1,611	1,623	−0,012	46	12,71	1,043	1,045	−0,002
68	6,34	1,523	1,563	−0,040	44	12,83	1,034	1,040	−0,006
67	7,53	1,433	1,450	−0,017	42	12,95	1,025	1,034	−0,009
66	8,45	1,364	1,369	−0,005	40	12,97	1,024	1,030	−0,006
65	9,40	1,292	1,304	−0,012	30	13,04	1,018	1,015	+0,003
64	9,95	1,251	1,253	−0,002					

Die folgende Versuchsreihe lehrt bei zahlreichen Incidenzen die berechneten und beobachteten Werthe des Winkels ω kennen; die Columne der Unterschiede zeigt, daſs die Uebereinstimmung so befriedigend wie möglich ist.

Zu Anfange dieser Abhandlung sagte ich, daſs Hr. Brewster vom Diamant, ohne die elliptische Polarisation desselben zu berücksichtigen, einen polarisirten Strahl im Azimut 45° reflectiren lieſs und die Lagen des Zerlegers suchte, welche das auſserordentliche Bild auf die kleinste Intensität reducirten. Er maſs dann, nicht die Azimute der vollständigen Polarisation, sondern die Richtungen der kleinen Axe der Oscillationsellipse des reflectirten Strahls. Die Fresnel'schen Gesetze waren also nicht mehr theoretisch anwendbar; indeſs erkannte Hr. Brewster, daſs die gemessenen Azimute ausgedrückt würden durch die Formel:

$$\tan A = \frac{(\cos i + r)}{(\cos i - r)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Hier war entweder ein Beobachtungsfehler oder eine merkwürdige Coïncidenz, und diese veranlaſste mich, am Schwefelarsenik die Versuche zu wiederholen, welche Hr. Brewster am Diamant gemacht hatte. Ich maſs die Azimute A, berechnete sie nach der Formel (3), und fand die berechneten und beobachteten Winkel nahe gleich für diesen Körper, wie sie es schon für den Diamant waren.

Um über diesen Punkt nichts dunkel zu lassen, muſs man zuvor ermitteln, was für eine Polarisation der reflectirte Strahl besitzt. Ist sie elliptisch, so giebt es zwei Reihen in der Bedeutung und dem Werthe verschiedener Azimute. Die einen, von Hrn. Brewster gemessenen A sind die Richtung der kleinen Axe in der Ellipse des reflectirten Strahls; die anderen, durch die Werthe von ω dargestellten, drücken durch ihre Tangente das Amplitudenverhältniſs aus. Wenn die Polarisation geradlinig ist, fallen diese beiden Reihen in eine einzige zusammen, die zugleich die Bedeutungen der beiden vorhergehenden besitzt, und theoretisch der Relation genügt:

$$\operatorname{tang} A = \operatorname{tang} \omega = \frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}.$$

Ist die Polarisation elliptisch, so berechnen sich die Winkel ω nach der Formel (1) und die Winkel A nach der von mir [1]) nachgewiesenen Relation

$$\operatorname{tang} 2A = \operatorname{tang} 2\omega \cos\delta.$$

Es ergiebt sich durch eine Coïncidenz, für die man keinen theoretischen Grund aufzusuchen braucht, daſs diese Relation sehr nahe dieselben Zahlen wie die Fresnel'sche Formel liefert, welchen Grad von Elliplicität auch die Polarisation haben möge. Letztere repräsentirt also in genügender Weise die Azimute der kleinen Axe der Ellipse; allein in keinem andern Falle als in dem einer vollständigen Polarisation kann sie zur Berechnung von ω dienen; und weil man nicht, wie man muſste, die Natur der Polarisation des reflectirten Strahls unterschied, beging man einen

1) *Ann. de chim. et de phys. Sér. III, T. XIX.* (Ann. Ergänzbd. II, S. 437.)

groben Fehler und glaubte an eine Beweisführung, die man zwar für stark brechende Substanzen nicht als hinreichend erachtete, die aber für Körper von geringer Brechbarkeit, für welchen man sie annahm, nicht weniger trügerisch ist.

Ein Blick auf die Tafel wird diese Schlüsse rechtfertigen. Man wird bemerken, daſs die Winkel ω und A, in der Nähe der Hauptincidenz, bedeutend von einander abweichen, daſs jede dieser beiden Reihen mit der theoretischen Formel übereinstimmt, und daſs die Werthe von A, berechnet nach den Formeln von Cauchy und von Fresnel, sehr nahe einander gleich sind.

Hinter dieser Tafel habe ich die mit den andern, vorhin genannten Substanzen gemachten Versuche aufgeführt. Diese Reihen bedürfen keiner ferneren Erläuterung; nur wird man bemerken, daſs wenn beim Fluſsspath (*fluorine*), die in der Einfallsebene polarisirte Componente gegen die begleitende zurück ist, der Phasenunterschied dennoch, bis auf das Zeichen, dieselben Variationen erfährt wie bei den Substanzen mit positiver Reflexion. Man wird auch sehen, daſs, wenn der Ellipticitätscoëfficient abnimmt, sämmtliche Einfallswinkel, für welche der Phasenunterschied merklich ist, in immer dichter zusammenliegende Gränzen gedrängt werden, die, wenn k Null wird, mit dem Polarisationswinkel zusammenfallen.

Digitized by Google

Schwefelarsenik. — Amplitudenverhältniſs.

Inci-denzen.	ω = Arc. tang $\frac{J}{I}$ beob.	ω = Arc. tang $\frac{J}{I}$ ber.	Unter-schied. ω	Azimut *A* der kleinen Ellipsenaxe beob.	berechnet nach Cauchy.	berechnet nach Fresnel.
84°	31°40′	32°20′	— 0°40′	32°35′	33° 7′	32°10′
82	27 10	28 4	— 0 51	27 5	27 56	27 19
80	24 10	23 58	+0 12	23 25	23 41	23 4
78	20 0	20 3	— 0 3	19 15	19 35	18 56
76	16 20	16 19	+0 1	15 10	15 28	14 55
74	12 33	12 43	— 0 10	11 25	11 12	11 2
72	9 22	9 43	— 0 21	8 22	7 53	7 18
70	8 30	8 9	+0 21	4 52	5 5	3 42
68	6 56	6 3	+0 53	0 52	1 2	1 21
66	6 46	6 27	+0 19	2 30	2 36	2 52
64	8 46	8 10	+0 36	5 10	5 47	6 6
62	10 33	10 24	+0 9	8 45	8 39	9 3
60	11 30	12 42	— 0 12	12 0	11 33	11 45
58	15 40	15 10	+0 30	14 5	14 20	14 30
56	17 33	17 29	+0 4	17 10	16 53	16 59
54	19 55	19 46	+0 9	19 25	19 19	19 20
52	21 36	21 50	— 0 14	21 15	21 19	22 0
50	23 18	23 53	— 0 35	23 41	23 35	23 39
48	26 30	25 44	— 0 14	25 50	25 33	25 34
40	32 40	32 12	+0 28	32 25	32 8	32 10

Durchsichtige Blende. $n = 2{,}371$; $\varepsilon = 0{,}0296$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°.)

Inci-denz	Ver-schieb. d. Fran-sen.	Interferenz. beob.	Interferenz. ber.	Unter-schied.	Wie-derher-gestell-tes Azi-mut.	ω. beob.	ω. ber.	Unter-schied.
76° 0′	0,57	+1,955	+1,951	+0,004	70°15′	16°18′	17°57′	— 0°39′
74 0	0,81	+1,936	+1,941	— 0,005	64 45	13 34	13 48	— 0 14
72 0	1,25	+1,912	+1,913	— 0,001	54 15	8 19	8 50	— 0 31
70 0	1,80	+1,859	+1,855	+0,004	42 0	5 24	5 30	— 0 6
69 0	2,75	+1,784	+1,793	— 0,009	34 0	4 3	4 1	+0 2
68 0	4,06	+1,681	+1,676	+0,005	26 30	3 0	2 52	+0 8
67 30	5,16	+1,594	+1,586	+0,008	23 37	2 38	2 32	+0 6
67 0	6,68	+1,471	+1,481	— 0,010	22 55	2 33	2 26	+0 7
66 30	7,87	+1,380	+1,380		25 23	2 51	2 37	+0 14
66 0	8,99	+1,292	+1,300	— 0,008	28 45	3 18	2 59	+0 19
65 30	9,57	+1,246	+1,241	+0,005	32 0	3 44	3 37	+0 7
65 0	10,00	+1,212	+1,199	+0,013	37 25	4 36	4 8	+0 28
64 0	10,78	+1,151	+1,145	+0,006	43 0	5 21	2 27	— 0 6
63 0	11,13	+1,124	+1,113	+0,011	50 15	7 12	6 51	+0 21
62 0	11,55	+1,090	+1,092	— 0,002	54 30	8 23	8 15	+0 7
61 0	11,75	+1,075	+1,076	— 0,001	59 15	10 1	9 38	+0 23
60 0	11,83	+1,068	+1,067	+0,001	61 45	11 4	10 55	+0 9

Diamant. $n = 2{,}434$ $\varepsilon = 0{,}0180$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°).

Inci-denz.	Ver-schieb. d. Fran-sen.	Interferenz. beob.	Interferenz. ber.	Unter-schied.	Wie-derher-gestell-tes Azi-mut.	ω. beob.	ω. ber.	Unter-schied.
75° 0′	0,48	+1,962	+1,970	— 0,008	66° 22′	13° 30′	13° 17	+0° 13′
74 0	0,59	+1,955	+1,964	— 0,009	64 7	12 13	11 23	+0 50
73 0	0,67	+1,948	+1,956	— 0,008	58 37	9 46	9 43	+0 3
72 0	0,77	+1,940	+1,942	— 0,002	52 15	7 44	7 42	+0 2
71 0	0,92	+1,928	+1,928		45 22	5 53	5 56	— 0 3
70 0	1,31	+1,897	+1,897		34 52	4 11	4 14	— 0 3
69 30	1,68	+1,868	+1,872	— 0,004	31 57	3 45	3 25	+0 20
69 0	2,21	+1,826	+1,829	— 0,003	26 7	2 57	2 18	+0 39
68 30	2,93	+1,769	+1,758	+0,011	18 45	2 3	1 58	+0 5
68 0	4,57	+1,640	+1,629	+0,011	14 0	1 30	1 28	+0 2
67 55	6,05	+1,545	+1,538	+0,007	13 2	1 23	1 22	+0 1
67 30	7,15	+1,437	+1,441	— 0,004	12 52	1 22	1 23	— 0 1
67 15	8,19	+1,363	+1,354	+0,009	14 37	1 34	1 32	+0 2
67 0	9,13	+1,288	+1,286	+0,002	16 22	1 45	1 43	+0 2
66 30	10,14	+1,202	+1,197	+0,005	21 35	2 23	2 20	+0 3
66 0	10,73	+1,155	+1,147	+0,008	27 35	3 9	3 1	— 0 7
65 0	11,37	+1,105	+1,097	+0,008	35 45	4 20	4 29	— 0 9
64 0	11,77	+1,073	+1,071	+0,003	43 40	5 46	5 58	+0 12
63 0	11,90	+1,063	+1,057	+0,006	51 45	7 36	7 26	+0 10
62 0	12,10	+1,047	+1,047		54 15	8 18	8 54	— 0 36
61 0	12,17	+1,042	+1,039	+0,003	59 15	10 1	10 17	— 0 16
60 0	12,29	+1,032	+0,034	— 0,002	62 53	11 35	11 34	+0 1

Flintglas, $n = 1{,}714$. $\varepsilon = 0{,}0170$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 77° 30′).

65° 15′	0,52	+1,959	+1,965	— 0,006	33° 15′	8° 16′	8° 31′	— 0° 15′
64 0	0,65	+1,947	+1,957	— 0,010	29 15	7 5	7 2	+0 3
63 0	0,78	+1,939	+1,940	— 0,001	24 30	5 46	5 9	+0 35
62 0	0,98	+1,923	+1,913	+0,010	17 52	4 5	3 37	+0 28
61 0	1,56	+1,877	+1,842	+0,035	12 15	2 45	2 10	+0 35
60 30	2,02	+1,841	+1,788	+0,053	9 10	2 3	1 31	+0 32
60 0	4,56	+1,640	+1,623	+0,017	5 31	1 13	1 3	+0 10
59 30	7,58	+1,401	+1,382	+0,019	4 47	1 4	1 3	+0 1
59 0	9,92	+1,217	+1,223	— 0,006	6 45	1 30	1 30	
58 30	10,50	+1,167	+1,149	+0,018	8 47	1 58	2 8	— 0 10
58 0	11,45	+1,108	+1,100	+0,008	12 14	2 45	2 50	— 0 5
57 0	11,88	+1,064	+1,071	— 0,007	17 42	4 3	4 17	— 0 14
56 0	12,10	+1,043	+1,052	— 0,009	23 15	5 26	5 46	— 0 20
55 0	12,17	+1,039	+1,041	— 0,002	29 0	7 0	7 3	— 0 3
54 0	12,31	+1,036	+1,034	+0,002	33 52	8 27	8 40	— 0 23
53 0	12,34	+1,026	+1,027	— 0,001	38 45	10 5	10 6	— 0 1

Glas. $n = 1,487$. $\varepsilon = 0,00752$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°).

Incidenz.	Verschieb. d. Fransen.	Interferenz.		Unterschied.	Wiederhergestelltes Azimut.	ω.		Unterschied.
		beob.	ber.			beob.	ber.	
61° 0'	0,23	+1,981	+1,985	— 0,004	51°55'	7°38'	7°41'	—0° 3'
60 0	0,28	+1,978	+1,980	— 0,002	45 24	5 5	5 29	+0 36
59 0	0,32	+1,985	+1,973	+0,002	37 40	3 9	4 40	—1 31
58 0	0,53	+1,958	+1,970	— 0,012	26 45	3 2	3 50	—0 48
57 30	0,64	+1,949	+1,945	— 0,004	20 26	2 15	2 15	
57 15	0,82	+1,935	+1,934	+0,001	17 2	1 51	1 52	—0 1
57 0	0,97	+1,913	+1,917	— 0,004	14 56	1 36	1 12	+0 24
56 45	1,30	+1,898	+1,888	+0,010	11 17	1 12	1 7	+0 5
56 30	1,96	+1,846	+1,837	+0,009	8 7	0 52	0 47	+0 5
56 15	3,98	+1,686	+1,681	+0,005	4 37	0 29	0 28	+0 1
56 0	7,36	+1,420	+1,396	+0,024	3 22	0 21	0 22	—0 1
55 45	9,87	+1,223	+1,159	+0,064	5 15	0 33	0 39	—0 6
55 30	10,91	+1,141	+1,127	+0,014	8 32	0 54	0 59	—0 5
55 15	11,62	+1,085	+1,085		11 52	1 16	1 9	+0 7
55 0	11,96	+1,058	+1,061	— 0,003	16 0	1 43	1 44	—0 1
54 30	12,12	+1,046	+1,048	— 0,002	23 3	2 34	2 30	+0 4
54 0	12,25	+1,036	+1,037	— 0,001	27 38	3 9	3 17	—0 8
53 30	12,29	+1,032	+1,029	+0,003	33 56	4 3	4 3	

Fluſsspath (*Fluorine*). $n = 1,441$. $\varepsilon = 0,00969$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°).

60° 0'	— 0,18	— 1,986	— 1,980	— 0,006	52° 7'	7°41'	7°29'	+0°12'
57 30	— 0,55	— 1,957	— 1,956	— 0,001	32 30	3 50	3 35	+0 15
57 0	— 0,73	— 1,943	— 1,944	+0,001	25 52	2 55	2 45	+0 10
56 30	— 1,07	— 1,916	— 1,923	+0,007	18 18	1 59	2 2	—0 3
56 0	— 1,68	— 1,868	— 1,876	+0,008	13 0	1 23	1 17	+0 6
55 45	— 2,19	— 1,819	— 1,822	+0,003	8 10	0 52	0 55	—0 3
55 15	— 6,83	— 1,463	— 1,499	+0,036	6 0	0 38	0 33	+0 5
55 0	— 9,31	— 1,265	— 1,282	+0,017	6 35	0 42	0 37	+0 5
54 45	— 10,47	— 1,175	— 1,175		9 15	0 59	0 55	+0 4
54 30	— 11,11	— 1,125	— 1,123	— 0,002	11 38	1 14	1 17	—0 3
54 15	— 11,44	— 1,099	— 1,094	— 0,005	15 15	1 38	1 39	—0 1
54 0	— 11,70	— 1,078	— 1,076	— 0,002	20 0	2 11	2 7	+0 4
53 30	— 11,95	— 1,059	— 1,055	— 0,004	26 45	3 2	2 48	+0 14
53 0	— 12,17	— 1,051	— 1,042	— 0,009	32 0	3 45	3 35	+0 10

Nachdem wir gezeigt, daſs die durch die Reflexion in der Amplitude und der Phase des reflectirten Bündels herbeigeführten Modificationen Functionen zweier Constanten sind, ist es nöthig den Werth für recht viele Substanzen

Digitized by Google

zu bestimmen, und dabei den Messungen alle mögliche Genauigkeit zu geben. Dieſs muſs ich erläutern.

Ich habe gezeigt, wie man die Hauptincidenz und das Amplitudenverhältniſs k bei derselben finden könne. Diese beiden Gröſsen, welche man als experimentelle Constanten der Reflexion betrachten kann, dienen zur Berechnung der theoretischen Constanten n und ε mittelst der gleichfalls schon gegebenen Relationen:

$$\operatorname{tang} 2r = \frac{k^2-1}{k^2+1} \operatorname{tang} 2i, \quad \varepsilon^2 = \frac{1}{\sin^2 i \operatorname{tang}(i+r) \operatorname{tang}(i-r)}.$$

Im Fall k sehr klein ist, könnte der Fehler, den man beim Messen des dasselbe bestimmenden Azimuts beginge, ein Fehler, der bei jeder Gröſse dieses Azimuts constant ist, k um eine mit k selber vergleichbare Gröſse verfälschen, und folglich würde die Bestimmung von ε nur eine sehr beschränkte Genauigkeit haben. Um die Genauigkeit zu erhöhen, habe ich zu dieser Bestimmungsweise eine andere hinzugefügt, die mehr Zuverlässigkeit verspricht.

Ich habe immer den Phasenunterschied δ bei einer groſsen Zahl von Incidenzen gemessen, um daraus ε herzuleiten, und dabei als erste Annäherung die durch die vorherige Methode gefundenen Werthe von n und ε angenommen.

Mittelst dieser Werthe berechne ich

$$\operatorname{tang} \delta'' = \varepsilon \sin i \operatorname{tang}(i-r).$$

δ'' ist immer sehr klein, zwischen 10 und 20 Minuten eingeschlossen, und fast constant, wie auch die Incidenz seyn möge.

Man miſst also δ bei irgend einer Incidenz i und hat

$$\operatorname{tang} \delta' = \operatorname{tang}(\delta - \delta'') = \varepsilon \sin i \operatorname{tang}(i+r).$$

In der Nähe der Hauptincidenz ist δ' viel gröſser als δ'', und folglich werden die in der Berechnung von δ'' begangenen Fehler den Winkel $\delta - \delta''$ nur unmerklich afficiren; man zieht daraus endlich

$$\varepsilon = \frac{\operatorname{tang}(\delta - \delta'')}{\sin i \operatorname{tang}(i+r)}.$$

Digitized by Google

Diese Relation lehrt so viele Werthe von ε kennen als man Bestimmungen von δ gemacht hat. Man erlangt hierdurch den Vortheil, die Beobachtungen zu vervielfältigen und Mittelwerthe aus verschiedenen Beobachtungen zu nehmen, und implicite, durch die Constanz der Werthe von ε, die allgemeinen Gesetze der Phasendifferenz für alle angewandten Substanzen zu bestätigen. Alle in der folgenden Tabelle enthaltenen Werthe von ε sind aus acht oder zehn auf diese Weise gemachten Beobachtungen hergeleitet.

Die Tafel am Schluſs enthält, gegenüber den Namen der angewandten Substanzen, zuvörderst die Hauptincidenzen und die Amplitudenverhältnisse k bei denselben, also die beiden experimentellen Constanten, die wir schon im ersten Theil dieser Abhandlung besprachen, dann die Werthe von ε, hergeleitet aus allen gemachten Messungen, und endlich die Brechindexe, bestimmt durch Reflexionsversuche und direct gemessen. Ich habe diese directe Bestimmung in allen Fällen gemacht, wo es die Durchsichtbarkeit der Substanz erlaubte, und habe dieſs durch ein Sternchen bemerkt. Auch habe ich die Indices angegeben, die andere Physiker an Substanzen maſsen, die entweder mir nicht gehörten, oder die wegen ihrer geringen Dimensionen nicht zu Prismen geschliffen werden konnten. Die durch diese beiden Methoden gefundenen Indices weichen nur wenig von einander ab, wenn man erwägt, wie geringe Genauigkeit die Messungen der Winkel der Hauptpolarisation zulassen.

Digitized by Google

Tafel
über die Constanten der elliptischen Polarisation bei verschiedenen Substanzen.

	I.	*k.*	*ε.*	*n.*		p
Positive Substanzen.						
Selen	68° 5'	0,1750	0,1200	2,605		− 69° 0'
Steinkohle	59 17	0,1022	0,1158	1,701		− 59° 33'
Turmalin	58 25	0,0829	0,0864	1,645	1,668	58 42
Bleiglätte	64 0	0,0945	0,0825	2,076		64 17
Realgar	67 26	0,0850	0,0791	2,454	2,420*	67 50
Kalkspath, senkr. gegen d. Axe	59 0	0,0591	0,0606	1,675	1,654	59 10
Anthracit	59 42	0,0545	0,0548	1,720		- 59 50
Straſs, dunkelblau	57 53	0,0437	0,0492	1,597		- 57 97
Flintglas, Matthiessen *A*	59 14	0,0349	0,0365	1,683		59 17
Arsenige Säure	59 24	0,0319	0,0332	1,692		59 25
Blende	67 6	0,0420	0,0296	2,371	2,369	67 8
Flintglas, Faraday *B*	60 16	0,0287	0,0285	1,755		60 20
Antimonglas	63 34	0,0290	0,0258	2,013	2,010*	63 35
Borsaures Blei	61 16	0,0266	0,0256	1,825	1,866	61 17
Asphalt	57 38	0,0250	0,0252	1,579		57 39
Carneol	56 53	0,0213	0,0245	1,534		56 54
Grünes Glas	56 46	0,0199	0,0218	1,527		56 47
Hausenblase	56 28	0,0184	0,0199	1,509	1,520*	28
Aloëharz	58 18	0,0181	0,0197	1,619	1,634	18
Diamant	67 30	0,0190	0,0180	2,434	2,439	67 40
Flintglas, Guinand *C*	59 44	0,0180	0,0170	1,714	1,710*	
Topas	58 36	0,0154	0,0161	1,638	1,638	
Straſs, farblos *D*	57 53	0,0133	0,0158	1,593	1,580*	
Beryll, senkr. gegen d. Axe	57 21	0,0133	0,0145	1,560	1,598	
Flintglas, *E*	58 12	0,0114	0,0120	1,613	1,614*	
Granat	60 30	0,0111	0,0110	1,767		
Quarz	56 50	0,0102	0,0112	1,530	1,547	
Bernstein	56 50	0,0098	0,0107	1,530	1,547	
Diopsid	54 2	0,0095	0,0106	1,378		
Straſs, grün	58 36	0,0084	0,0089	1,638	1,620*	
Copal	56 48	0,0084	0,0092	1,528	1,535	
Straſs, dunkel rosenroth	58 17	0,0083	0,0088	1,618	1,618*	
Rothes Glas	56 8	0,0076	0,0085	1,490		
Gummi arabicum	56 3	0,0071	0,0082	1,480	1,476	
Flintglas, *E*	57 40	0,0076	0,0082	1,579	1,574	
Alaun	55 22	0,0065	0,0075	1,448	1,457	
Glas	56 5	0,0060	0,0075	1,487		
Colophon	55 15	0,0086	0,0070	1,545	1,543	
Neutrale Substanzen.						
Alaun, senkr. geg. d. Octaëderaxe	55 0	0,0000	0,0000	1,428		
Menilith	56 0	0,0000	0,0000	1,482		
Negative Substanzen.						
Silex résinite bleu	55 13	0,0052	0,0059	1,439		
Fluſsspath (Fluorine)	55 15	0,0084	0,0097	1,441		
Hyalith	54 52	0,0064	0,0074	1,421		

Digitized by Google

Schluſsfolgerung.

In dieser Abhandlung habe ich zu beweisen gesucht:

1. Daſs fast alle starren Substanzen das Licht unvollständig polarisiren.

2. Daſs sie die geradlinige Polarisation des einfallenden Bündels in eine elliptische verwandeln.

3. Daſs der Phasenunterschied der Componenten der reflectirten Bewegung bei der streifenden, hauptsächlichen und lothrechten Incidenz die Werthe 2π, $\frac{3}{2}\pi$ und π annimmt.

4. Daſs die Reflexionsgesetze von zwei Constanten abhängen, von dem Refractionsindex und dem Elliptícitätscoëfficienten.

5. Das alle Substanzen, deren Refractionsindex gröſser als 1,46 ist, die Phase der in der Einfallsebene polarisirten Strahlencomponenten vorrücken.

6. Daſs dagegen alle Substauzen von geringerem Index die Phase desselben Strahls zurückschieben.

7. Daſs gewisse Substanzen, deren Refractionsindex nahe gleich 1,46 ist, die Phase der beiden Componenten des reflectirten Strahls weder vor- noch zurückschieben, also das Licht geradlinig polarisiren, und den Uebergang zwischen den vorherigen zwei Categorien machen.

8. Daſs die von Hrn. Cauchy für die Reflexion des Diamants aufgestellten Formeln ohne Unterschied auf alle Körper der Natur anwendbar sind, während die von Fresnel nur für den besonderen Fall der geradlinigen Polarisation Geltung haben.

Endlich habe ich den Werth der beiden Constanten, welche die Reflexion regeln, für eine groſse Anzahl von Substanzen bestimmt.

Digitized by Google

IV. *Ueber die Reflexion des Lichts an der Oberfläche von Flüssigkeiten; von Hrn.* Jamin.

(*Ann. de chim. et de phys. T. XXXI. p.* 175.)

Eine erste Abhandlung über die Reflexion in durchsichtigen Körpern, welche ich die Ehre hatte dem Urtheile der Academie vorzulegen [1]), enthält eine bedeutende Zahl von Versuchen mit Körpern von sehr verschiedener Brechkraft und Natur. Sie führte zu Resultaten, die ich hier zur Erleichterung des Verständnisses der gegenwärtigen Abhandlung kurz aufzählen will.

Alle Physiker wissen, dafs wenn man einen Strahl von Wolken- oder anderem schwachen Lichte, winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt, auf eine polirte, nicht metallische Fläche fallen läfst, er bei einer gewissen Incidenz, die man *Polarisationswinkel* nennt, nach der Reflexion aufhört sichtbar zu seyn.

Diesen Versuch in absolutem Sinne auslegend, haben die Physiker geschlossen, die Auslöschung des Strahls sey vollständig; diefs ist ein Irrthum. Es giebt noch in diesem Fall einen reflectirten Strahl, der zwar schwach ist, aber in seiner Intensität ein constantes Verhältnifs zum einfallenden Strahl besitzt, und nicht mehr unsichtbar oder zu vernachlässigen ist, sobald man, statt des Wolkenlichts, einen directen Sonnenstrahl reflectiren läfst. Er erreicht bei der besonderen Incidenz I, welche wir künftig *Hauptincidenz* nennen wollen, nur ein Intensitätsminimum k^2, niemals aber die Nullität.

Aufser dieser ersten, an den Reflexionsgesetzen zu machenden Abänderung besteht eine andere wichtige darin, dafs der Strahl seine Vibrationsart gänzlich ändert; es tritt nämlich zwischen den beiden Hauptcomponenten der reflectirten Bewegung eine Anomalie oder Phasendifferenz ein, die

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III., T. XXIX. p.* 263. (Es ist die vorhergehende Abhandlung.)

Digitized by Google

bei lothrechter Incidenz einer halben Welle gleich ist, bis zum Winkel des Polarisationsmaximums auf drei Viertel-Wellen steigt, und sich bei der Incidenz 90° zu einer ganzen Welle erhebt.

Diese Veränderung der Anomalie geschieht stetig, aber nicht gleichförmig. Wenn die Incidenz, von 0° oder 90° aus, zu- oder abnimmt, behält die Anomalie beinahe ihren anfänglichen Werth bis zu zwei Gränzincidenzen, einer höheren und einer niedrigeren als der Winkel *I*, worauf sie sich dann mit wachsender Geschwindigkeit bis zur Hauptincidenz verändert. Daraus folgt, daſs wenn der einfallende Strahl in irgend einem Azimute polarisirt war, er entweder elliptisch oder geradlinig vibrirt, je nachdem die Incidenzen zwischen jenen Gränzen liegen oder nicht.

Zwischen diesen beiden Klassen verschiedenartiger Erscheinungen giebt es übrigens eine leicht experimentell zu erweisende Relation. Die beiden Gränzincidenzen, bei denen die elliptische Polarisation anfängt und endigt, entfernen oder näheren sich, wenn der Werth von k zu- oder abnimmt, und fallen endlich zusammen, wenn dieser Null wird. Alsdann geht die Anomalie plötzlich von $\frac{1}{2}\lambda$ zu λ über; es giebt keine elliptische Vibration mehr, und man kommt auf den Fall zurück, der vor den erwähnten Versuchen allgemein vorausgesetzt wird.

Beim Studium einer groſsen Zahl von Substanzen habe ich bald erkannt, daſs sie zwei besondere Fälle darbieten. Sie alle zeigen zwar zwischen den Ellipticitätsgränzen eine, numerisch dieselben Veränderungen durchlaufende, Anomalie, allein sie unterscheiden sich durch das Zeichen der Anomalie, die positiv oder negativ seyn kann, je nachdem die parallel der Einfallsebene polarisirte Vibration gegen die darauf winkelrechte Componente voraus oder zurück ist. Es giebt also positiv reflectirende Substanzen und negativ reflectirende.

Bisher ist es nicht möglich gewesen, eine einfache Beziehung zwischen den Werth des Coëfficienten k und dem Brechungsindex aufzufinden; im Gegentheile läſst Alles glau-

Digitized by Google

ben, daſs beide Constanten von einander unabhängig sind. Allein in Ermangelung eines strengen Gesetzes läſst sich bemerken, daſs der Coëfficient k eine Tendenz hat, mit dem Index abzunehmen, und daſs er Null wird, wenn letzterer annähernd 1,45 ist. Nimmt der Index noch weiter ab, so erlangt der Coëfficient wieder einen Werth, welcher wächst.

Andererseits haben alle Substanzen, deren Index gröſser als 1,45 ist, eine positive Anomalie; die, deren Index kleiner ist, eine negative. Man kann also die Körper in eine regelmäſsige Reihe bringen, wenn man sie annähernd nach abnehmendem Index ordnet; zuvörderst haben sie eine positive Anomalie, zwischen Gränzen, die sich nähern bis sie zusammenfallen; dann eine negative Anomalie, die man innerhalb immer verschiedeneren Incidenzgränzen beobachtet.

Lange vor diesen Versuchen hatte Hr. Cauchy die Reflexion an der Oberfläche durchsichtiger isophaner Substanzen einer gelehrten Analyse unterworfen, und dabei bewiesen, daſs die Gesetze dieser Erscheinung nicht allein vom Brechungsindex abhängen, sondern noch von einer zweiten Constante ε, die man *Elliptícitätscoëfficienten* nennen kann. Das Daseyn dieser Constanten war bei weitem nicht für alle Körper nachgewiesen. Nur einige Versuche von Airy hatten sie für den Diamant muthmaſsen lassen und Hr. Cauchy hatte, im Vertrauen auf alle damaligen Versuche, geglaubt, sie sey für alle Körper von mittlerer Brechbarkeit gleich Null. Aus den eben erwähnten Resultaten geht hervor, daſs ε fast niemals Null ist, und daſs die Formeln in ihrer ganzen Allgemeinheit für alle Fälle der Reflexion gültig sind, und sie mit merkwürdiger Genauigkeit darstellen.

Hier diese Formeln. Es bezeichnet darin $\tang^2 \pi$ das Intensitätsverhältniſs der Hauptvibrationen und δ ihre Anomalie

$$\tang^2 \pi = \frac{\cos^2(i+r) + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin^2(i+r)}{\cos^2(i-r) + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin^2(i-r)}$$

$$\delta = \delta' + \delta''$$

$$\tang \delta' = \varepsilon \sin i \tang(i+r); \quad \tang \delta'' = \varepsilon \sin i \tang(i-r).$$

Allein, um vollständig zu seyn, muſste die Theorie des gelehrten Mathematikers sowohl den Fall der positiven Anomalie als den der negativen umfassen, und hierin ist die Erfahrung nicht ohne Nutzen für die Theorie gewesen.

Bekanntlich haben Hr. Cauchy's Arbeiten über die doppelte Strahlenbrechung nicht allein alle Gesetze derselben dargestellt, sondern auch die Existenz eines dritten gebrochenen Strahls von eigenthümlichen Vibrations-Eigenschaften wahrscheinlich gemacht, der bisher noch nicht experimentell hat nachgewiesen werden können. Auch beim Acte der Reflexion findet Hr. Cauchy einen analogen, bisher nicht wahrgenommenen Strahl, der aber einen Einfluſs auf die Reflexion ausübt und indirect in die obigen Formeln eingeht; beim Eindringen in die Substanzen erlöscht dieser Strahl in sehr kleiner, fast nullgleicher Tiefe, vermöge eines Auslöschungs-Coëfficienten, der unendlich seyn kann. Bei lothrechter Incidenz ist der Werth von ε verknüpft mit dem Auslöschungs-Coëfficienten k'' im reflectirenden Körper, und $k_{''}$ in der Luft durch die Formel:

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{k''\lambda} - \frac{2\pi}{k_{''}\lambda}.$$

Bei erster Veröffentlichung dieser Formeln hatte Hr. Cauchy angenommen, daſs in der Luft kein verschwindender Strahl vorkomme, oder daſs der Coëfficient $k_{''}$ unendlich sey, durch welche Hypothese dann ε immer einen positiven Werth erhielt. Allein die von mir erwähnten Versuche zeigen, daſs ε positiv oder negativ seyn kann, lassen also glauben, daſs k'' und $k_{''}$ beide einen endlichen Werth behalten.

Das sind nun die Haupt-Ergebnisse für die starren Körper; jetzt wollen wir dieselben Erscheinungen verfolgen, wenn die reflectirende Oberfläche flüssig ist. Bei diesen Versuchen tritt mehr als eine Schwierigkeit entgegen. Das Schwanken der Oberflächen hindert den Beobachter, die Kleinheit der zu messenden Wirkungen macht die Versuche mühsamer, und die Schwierigkeit der Einstellung erfordert eigen-

Digitized by Google

eigenthümliche, sehr genaue Apparate. Hier die Beschreibung des von mir angewandten.

Auf einem Brett AB mit Stellschrauben (Fig. 6 Taf. III.) ist ein getheilter Halbkreis, den man mittelst eines Niveaus lothrecht stellt. Zwei um das Centrum drehbare und mit Nonien, die eine Minute angeben, versehene Alhidaden tragen zwei inwendig geschwärzte Kupferröhren, welche an ihren Enden Fadenkreuze zur Bestimmung der Incidenzen, Nicol'sche Prismen zur Polarisation und Zerlegung des Lichts und, winkelrecht auf ihren Richtungen, getheilte Kreise zur Messung der Polarisationsazimute des einfallenden und reflectirten Strahls besitzen.

Auf dem Brette des Instruments steht ein Näpfchen (o) von schwarzem Glase, in welches man eine hinlängliche Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit gieſst. Da die Fadenkreuze der beiden Fernröhre so ajustirt worden, daſs sie beständig auf das Centrum jedes derselben gerichtet sind, so bestimmt sich das Niveau durch die Bedingung, daſs die vier Fadensysteme bei jeder Incidenz im reflectirten Bilde in gerader Linie liegen.

Durchaus nothwendig ist es, mit Sonnenlicht zu operiren. Jedermann begreift nämlich, daſs wenn man etwaige Gangunterschiede zwischen den beiden Hauptstrahlen in der Nähe derjenigen Winkel messen will, bei dem einer dieser Strahlen ausgelöscht wird, man die Intensität desselben für das Auge wahrnehmbar machen muſs, dadurch, daſs man das einfallende Licht möglichst lebhaft nimmt. Diese Nothwendigkeit führt eine Schwierigkeit in der Orientirung mit sich und erfordert eine Complication des Instruments, weil der Sonnenstrahl durch das vordere Fernrohr geht, und bei jedesmaliger Aenderung der Incidenz seine Richtung ändern muſs. Ich versehe daher den Körper des Fernrohrs mit einem Halsband, der sich drang um ihn dreht, und mittelst eines Stifts einen kleinen Metallspiegel F trägt. Das Licht wird zunächst durch einen Heliostat in einer festen Richtung fortgesandt und darauf von dem Spiegel reflectirt; dann bringt man ihn in die Axe des Fernrohrs

indem man den Spiegel neigt, bis die Schatten der beiden Fadensysteme auf einem zu diesem Zweck in *D* angebrachten Schirm sich decken.

Beim Durchgang durch das Fernrohr muſs sich der Strahl immer in einem groſsen Azimut polarisiren; bei allen meinen Versuchen behält es den Werth von 85°. An der reflectirenden Fläche zerfällt er in zwei polarisirte Bündel; das in der Einfallsebene polarisirte hat eine sehr kleine Intensität ($\cos^2 85$), das andere, darauf winkelrecht polarisirte, eine sehr groſse ($\sin^2 85$). Das erste wird bei der Reflexion sehr wenig geschwächt, das andere sehr viel; allein da es dem einfallenden Strahl proportional bleibt und dieser durch eine zweckmäſsige Wahl des Azimuts intensiv gemacht worden ist, so bleibt es sichtbar und dem ersten vergleichbar.

Nach der Reflexion tritt der Strahl in das zweite Fernrohr und durchläuft zuvörderst den Compensator *G*, gebildet aus zwei etwas prismatischen Quarzplatten, die parallel der Axe geschnitten und über Kreuz gelegt sind. Diese prägen den beiden hindurchgehenden Strahlen, dem ordentlichen und auſserordentlichen, Gangunterschiede von entgegengesetztem Zeichen ein, und erzeugen durch deren Ueberdeckung den Effect einer einzigen Platte, die gleiche Dicke mit ihrem Unterschied hatte.

Die Axe dieser hypothetischen Platte stellt man in die Einfallsebene.

Die parallel und winkelrecht zur Einfallsebene polarisirten Componenten des reflectirten Strahls brechen sich dann ordentlich und auſserordentlich; sie erlangen einen Gangunterschied, der von der Dicke des durchlaufenden Quarzes bedingt wird und sich der Anomalie der Reflexion hinzufügt.

Da die beiden Quarzplatten des Compensators kreisförmig geschnitten, und gegen einander verkehrt gelegt sind, so verändert sich der Unterschied ihrer Dicken, wenn man die eine, parallel mit sich selbst, mittelst einer Mikrometerschraube auf der anderen verschiebt; der Beobachter kann

Digitized by Google

daher den Gangunterschied der beiden Componenten nach Belieben verändern, ihn der von der Reflexion erzeugten Anomalie gleich und im Zeichen entgegengesetzt machen, und den Werth desselben durch eine Graduirung des Compensators messen. Ist die Anomalie zerstört, so nimmt der reflectirte Strahl wieder geradlinige Polarisation an.

Nach dieser Umwandlung setzt der Strahl seinen Gang fort und geht durch das zweite Nicol'sche Prisma, welches das Azimut der wiederhergestellten Polarisation miſst. Die Tangente dieses Winkels ist gleich dem Amplitudenverhältniſs der beiden Componenten des reflectirten Strahls.

Ich habe nun die Resultate der Versuche, die mit diesem Instrumente nach der angegebenen Methode ausgeführt wurden, kennen zu lehren. Hier zunächst die mit *Lavendelöl* erhaltenen Zahlen. Die Substanz zeigt zwischen den Incidenzen 54° und 60° eine deutlich elliptische Polarisation. Der Gangunterschied variirt von $\frac{1}{4}\lambda$ bis λ und die Verschiebungen des Compensators müssen in demselben Sinn wie beim Glase geschehen, d. h. der Ellipticitätscoëfficient ε ist positiv. In der Nähe der Hauptincidenz reichen die geringsten Aenderungen der Incidenz hin, um den Werth der Phase auſserordentlich zu ändern, und die kleinsten Fehler, die man beim Messen dieser Incidenzen begeht, führen sehr merkliche in den Resultaten nach sich. Auch wird man beim Vergleiche der beobachteten und berechneten Zahlen gröſsere Unterschiede finden als in meiner früheren Abhandlung. Sollen diese Versuche genau seyn, so bedarf man nicht allein vollkommenerer Instrumente, sondern auch einer gröſseren Lichtintensität als die des Sonnenlichts, und homogener Strahlen.

Tafel I. *Lavendelöl.* (*Positive Reflexion.*)

$\varepsilon = +0{,}00150$; $I = 55^\circ\,37'\,40''$; $n = 1{,}462$.

Incidenz.	Mikrometer.	Interferenz		Wiederhergestelltes Azimut.	ω.	
		beobachtet.	berechnet.		beob.	ber.
90° 0'	+ 0,00	+2,000	+2,000	85° 0'	45° 0'	45° 0'
56 32	+ 0,42	+1,967	+1,971	16 0	1 26	1 24
56 20	+ 0,71	+1,944	+1,963	13 0	1 9	1 7
56 14	+ 0,80	+1,941	+1,958	10 20	0 55	0 58
56 8	+ 0,86	+1,932	+1,949	8 40	0 46	0 48
56 2	+ 1,06	+1,917	+1,938	6 15	0 33	0 39
55 56	+ 0,99	+1,922	+1,918	4 45	0 25	0 30
55 50	+ 1,29	+1,899	+1,878	4 20	0 23	0 21
55 44	+ 3,08	+1,758	+1,796	1 58	0 13	0 13
55 38	+ 6,36	+1,501	+1,522	1 18	0 7	0 8
55 32	+ 9,15	+1,282	+1,224	1 40	0 9	0 12
55 26	+10,37	+1,187	+1,123	4 20	0 23	0 19
55 20	+11,02	+1,136	+1,087	5 30	0 29	0 29
55 14	+11,43	+1,103	+1,081	6 22	0 33	0 38
55 8	+11,71	+1,081	+1,051	8 50	0 47	0 47
55 2	+12,16	+1,046	+1,042	10 20	0 56	0 57
54 56	+12,16	+1,046	+1,036	13 10	1 10	1 6
54 50	+12,21	+1,042	+1,032	14 30	1 18	1 15
54 44	+12,31	+1,034	+1,029	16 50	1 29	1 25
54 38	+12,36	+1,030	+1,025	18 0	1 37	1 34
0	+12,75	+1,000	+1,000	85 0	45 0	45 0

Im vorstehenden Beispiele war der Ellipticitätscoëfficient positiv, d. h. die in der Einfallsebene polarisirte Vibration war der auf ihr winkelrechten voraus. Die beiden folgenden Tafeln enthalten Resultate entgegengesetzter Art; sie beziehen sich auf zwei Flüssigkeiten von sehr kleinem Brechungsindex, auf destillirtes, durch Sieden von Luft befreites Wasser, und auf eine Lösung von Eisensesquichlorür in dem sechsfachen Gewichte Wasser. Bei letzteren wird man ohne Zweifel erstaunt seyn, einen fast eben so groſsen Ellipticitätscoëfficienten wie den des Diamant zu finden.

Tafel II. *Wasser.* (*Negative Reflexion.*)

$\varepsilon=-0{,}00577$. $I=53^\circ\,7'$. $e=1{,}333$.

Incidenz	Mikrometer.	Interferenz beobachtet.	Interferenz berechnet.	Wiederhergestelltes Azimut.	ω beob.	ω ber.
90° 0′	0,00	— 2,000	— 2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0′
55 36	— 0,14	— 1,981	— 1,976	39 0	4 3	4 2
54 54	— 0,29	— 1,977	— 1,969	23 0	2 7	2 55
54 30	— 0,54	— 1,957	— 1,961	16 0	1 26	2 16
54 3	— 0,80	— 1,937	— 1,942	12 30	1 7	1 34
53 50	— 1,06	— 1,917	— 1,925			1 14
53 42	— 1,29	— 1,899	— 1,909	10 37	0 56	0 59
53 35	— 1,47	— 1,884	— 1,888	8 59	0 47	0 48
53 30	— 1,86	— 1,854	— 1,860	7 30	0 40	0 41
53 23	— 2,18	— 1,829	— 1,819	5 30	0 29	0 31
53 19	— 3,48	— 1,727	— 1,776	5 30	0 29	0 28
53 15	— 3,79	— 1,703	— 1,712	4 30	0 24	0 26
53 12	— 4,80	— 1,623	— 1,646	3 52	0 20	0 18
53 9	— 5,68	— 1,554	— 1,562	3 0	0 16	0 18
53 7	— 6,38	— 1,500	— 1,500	3 0	0 16	0 16
53 6	— 7,21	— 1,434	— 1,470	3 0	0 16	0 16
53 3	— 8,47	— 1,436	— 1,382	3 0	0 16	0 18
52 59	— 8,99	— 1,295	— 1,288	3 50	0 20	0 21
52 55	— 9,56	— 1,250	— 1,224	5 4	0 27	0 15
52 50	— 10,79	— 1,153	— 1,171	6 0	0 31	0 29
52 46	— 11,04	— 1,134	— 1,143	6 4	0 32	0 30
52 42	— 10,99	— 1,138	— 1,129	8 55	0 47	0 35
52 38	— 11,40	— 1,106	— 1,107	10 15	0 54	0 50
52 31	— 11,64	— 1,087	— 1,087	13 15	1 5	1 0
52 26	— 11,74	— 1,079	— 1,077	13 50	1 10	1 9
52 16	— 11,86	— 1,070	— 1,062	15 54	1 25	1 24
52 5	— 12,01	— 1,058	— 1,051	19 7	1 41	1 42
51 45	— 12,04	— 1,054	— 1,039	21 10	1 56	2 16
51 24	— 12,16	— 1,046	— 1,030	24 0	2 14	2 48
50 56	— 12,34	— 1,032	— 1,024	29 0	2 47	2 34
0 0	— 12,75	— 1,000	— 1,000	85 0	45 0	45 0

Tafel III. *Lösung von Eisensesquioxyd.* (*Negative Reflexion.*)

$\varepsilon=-0{,}01056$. $I=53^\circ\,55'$. $n=1{,}372$.

90° 0′	0,00	— 2,000	— 2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0
55 29	— 0,59	— 1,954	— 1,935	26 0	2 27	2 35
55 23	— 0,79	— 1,938	— 1,931	25 0	2 20	2 35
55 17	— 0,89	— 1,930	— 1,926	24 0	2 14	2 16
55 11	— 0,99	— 1,912	— 1,921	23 0	2 8	2 7
55 5	— 0,89	— 1,930	— 1,914	20 0	1 49	1 57
54 59	— 1,13	— 1,911	— 1,907	19 0	1 44	1 48
54 53	— 1,28	— 1,899	— 1,898	18 0	1 38	1 39
54 47	— 1,44	— 1,887	— 1,887	15 30	1 23	1 29
54 40	— 1,69	— 1,867	— 1,874	14 0	1 15	1 21

Digitized by Google

Incidenz.	Mikrometer.	Interferenz		Wiederhergestelltes Azimut.	ω	
		beobachtet.	berechnet.		beob.	ber.
54° 35′	— 1,93	— 1,848	— 1,858	13° 0′	1° 9′	1° 8′
54 29	— 2,14	— 1,832	— 1,837	10 30	1 0	1 3
54 23	— 2,42	— 1,810	— 1,809	9 0	0 48	0 55
54 17	— 3,28	— 1,743	— 1,773	8 30	0 45	0 47
54 11	— 3,75	— 1,706	— 1,723	8 0	0 42	0 40
54 5	— 4,60	— 1,639	— 1,656	7 0	0 37	0 35
53 59	— 5,78	— 1,546	— 1,575	7 0	0 37	0 35
53 55	— 6,38	— 1,500	— 1,500	7 0	0 37	0 32
53 50	— 7,44	— 1,416	— 1,422	7 0	0 37	0 32
53 44	— 8,14	— 1,361	— 1,377	8 30	0 45	0 35
53 38	— 8,69	— 1,318	— 1,271	8 30	0 45	0 41
53 32	— 9,53	— 1,252	— 1,222	9 0	0 48	0 48
53 26	— 10,41	— 1,183	— 1,187	10 0	0 53	0 55
53 26	— 10,69	— 1,161	— 1,159	12 0	1 4	1 4
53 14	— 10,94	— 1,142	— 1,139	13 30	1 12	1 12
53 8			— 1,123	16 0	1 26	1 21
53 2	— 11,32	— 1,101	— 1,110	18 0	1 38	1 30
52 56	— 11,48	— 1,099	— 1,099	18 0	1 38	1 39
52 50	— 11,57	— 1,092	— 1,091	20 0	1 55	1 49
52 44	— 11,86	— 1,070	— 1,083	22 0	2 1	1 58
52 38	— 11,98	— 1,060	— 1,077	24 0	2 14	2 7
52 32	— 12,15	— 1,047	— 1,071	25 0	2 20	2 21
52 25	— 12,31	— 1,036	— 1,066	26 0	2 27	3 5
0	— 12,75	— 1,000	— 1,000	85 0	45 0	45 0

Ich habe es nicht für nöthig erachtet, die Beispiele dieser Arten von Wirkungen zu vervielfältigen; die vorstehenden, aufs Gerathewohl genommenen, werden hinreichen, um die Schlüsse meiner früheren Abhandlung auf die Reflexion an Flüssigkeiten auszudehnen. Das allgemeine Gesetz besteht in dem Daseyn nicht einer geradlinigen, sondern elliptischen Polarisation, die positiv oder negativ seyn kann; sie findet sich zwischen Gränzincidenzen, die der Hauptincidenz sehr nahe liegen, einander näher oder ferner liegen, und selbst zusammenfallen können.

Man wird mir überdieſs die Bemerkung erlauben, daſs diese neuen Versuche nicht bloſs den Zweck haben, die früheren Versuche fortzusetzen und zu bestätigen, sondern auch den Sinn und die Wichtigkeit derselben zu bestätigen.

Klar ist nämlich, daſs die starren Substanzen durch die mechanischen Actionen des Polirens in einen eigenthümlichen Zustand gerathen und ihre Elasticität verändern, von

Digitized by Google

der mathematischen Oberfläche ihrer Begränzung an bis zu einer gewissen Tiefe im Innern. Man kann sie also betrachten als gebildet aus einer Uebereinanderlage dünner paralleler Schichten von verschiedenem Brechungsindex und konnte fürchten, daſs die Reflexion des Lichts nicht bloſs an der Trennungsfläche, sondern auch am Uebergange von einer dieser Schichten zur anderen stattfände. Nun aber wäre die nothwendige Folge einer solchen Action das Daseyn einer unvollständigen Polarisation und einer Interferenz zwischen den beiden elementaren reflectirten Strahlen. Und wenn dieser Einwurf gegründet wäre, würden die bezeichneten Gesetze, obgleich allgemein und die Erscheinungen repräsentirend, diesem durch die Politur bedingten gezwungenen Gleichgewicht zugeschrieben werden müssen, und sich nicht bewähren in dem Fall, wo die Elasticität der Substanzen natürlich nur von den Molecularkräften geregelt wird. Wie sonderbar die Erscheinungen auch seyn möchten, würde man sie doch nur als Abweichungen zu betrachten haben, hervorgegangen aus Fehlerquellen, die man eliminiren muſste.

Ohne den Einfluſs eines solchen Zustandes ganz und gar läugnen zu wollen, könnte man Bemerkungen aufstellen, die den Werth dieser Einwürfe herabsetzen.

Unter den von mir angewandten Substanzen befanden sich viele, die im Groben auf einer Glasplatte geschliffen und dann auf ausgespanntem Leder vollkommen polirt worden waren; dieses Verfahren übte keinen Druck und keine Aenderung der Elasticität aus. Andere krystallinische Substanzen hatten durchaus keine künstliche Politur erfahren, denn es waren entweder natürliche Flächen oder Spaltungsflächen benutzt worden. Unter diesen Körpern hatte ich die Blende untersucht, deren Elliptieitätscoëfficient sehr groſs ist.

Ueberdieſs hatte ich den dreifachen Umstand der positiven, geradlinigen und negativen Reflexion hervorgehoben, und gezeigt, daſs er zu den mehr oder weniger groſsen Werth des Brechungsindex in Beziehung zu stehen

scheine, und keine Beziehung zur Natur der Politur habe. Alle diese Gründe endlich, die ich anführte, um mich zu überzeugen und die Einwürfe zu heben, forderten zu einer entscheidenden Probe auf, zum Studium der Reflexion bei Flüssigkeiten. Wie man so eben gesehen, ist ihre Polarisation elliptisch, und die Ursache derselben kann unmöglich in eine anomale Molecular-Constitution gesetzt werden.

Ich habe es für nöthig gehalten, den Reflexionscoëfficienten bei einer grofsen Zahl von Flüssigkeiten zu bestimmen, um zu sehen, ob es ein Gesetz gebe, welches den Werth von ε mit dem des Brechungsindex verknüpfe. Unglücklicherweise ist diese Untersuchung wegen der Kleinheit von ε sehr schwierig.

Man kann diese Bestimmung auf zweierlei Weisen machen. Die erste beteht darin, dafs man die Hauptincidenzen nimmt, bestimmt durch die Bedingung $\delta = \frac{3}{4}\lambda$, dafs man diese Anomalie mittelst des Compensators compensirt, und das Azimut β der wiederhergestellten Polarisation aufsucht. Die Tangente dieses Winkels würde gleich k seyn, wenn das einfallende Azimut 45° wäre; ist dieses α, so wird sie gegeben seyn durch die Formel:

$$\text{tang}\beta = k \,\text{tang}\,\alpha \quad \text{woraus} \quad k = \frac{\text{tang}\,\beta}{\text{tang}\,\alpha}.$$

Ich operirte immer mit den Werthen von α gleich 85, 86, 87 und 88 Grad, nahm die Azimute positiv und negativ um die Fehler der Ablesung zu berichtigen, und erhielt somit vier Werthe von k durch vier Bestimmungen von β. Die Fehler dividirten sich durch die immer sehr grofse Tangente von α, und reducirten sich so auf einen sehr kleinen Zahlenwerth, was indefs nicht beweifst, dafs k sehr genau bestimmt sey, denn es ist immer sehr klein und der bei seiner Bestimmung begangene Fehler könnte ein sehr bedeutender Theil seines eigenen Werthes seyn. Ist k einmal erhalten, läfst sich ε leicht berechnen.

Die zweite Methode, die ich neben der ersten angewandt habe, führt nicht zu sichereren Resultaten; ihr gemäfs

Digitized by Google

sucht man bei Einfallswinkeln, die der Hauptincidenz nahe liegen, mehre Werthe der Anomalie δ auf, und, da in Hrn. Cauchy's Formeln δ'' nur vernachläſsigbare Werthe besitzt, hat man:

$$\tang \delta = \varepsilon \sin i \tang (i+r),$$

nach welcher Formel man so viele Werthe von ε finden kann, als man Bestimmungen von δ hat. Allein es ist zu bemerken, daſs die geringsten Variationen der Incidenz beträchtliche Aenderungen von δ bewirken, und daſs, wenn man sich in der Messung dieser Incidenzen irrt, die berechnete Tangente von $(i+r)$, welche immer ungemein groſs ist, sehr von ihrem wahren Werth entfernt seyn wird, und dieser Fehler wirft sich auf ε.

Klar ist also, daſs die gegenwärtig bekannten Processe keine sehr groſse Genauigkeit in der Bestimmung von k oder ε versprechen. Ich kann versichern, daſs die Versuche mit der gröſsten Sorgfalt angestellt und stets mehrmals wiederholt wurden, darf aber deſsungeachtet nicht behaupten, daſs die in der folgenden Tafel enthaltenen Messungen von k definitiv seyen. Die angegebenen Brechungsverhältnisse sind durch directe Versuche bestimmt worden.

Tafel IV.

	k.	*I.*	*n.*
Positive Substanzen.			
Steinkohlentheer	0,00823	60° 30′	1,768
Jodwasserstoffäther	283	56 37	1,503
Lavendelöl	250	55 37	1,462
Terpenthinöl	237	55 36	
Amylen	233	56 5	1,487
Anisöl	231	57 12	1,555
Salpeteräther	225	54 37	1,381
Rosmarinöl	223	55 45	1,472
Badianöl	216	57 20	1,555
Chlorzink, gesättigt	213	56 34	1,543
Camphron	212	56 30	1,503
Wermuthöl	212	56 15	1,473
Cajeputöl	212	55 51	1,465
Absoluter Alkohol	208	53 38	
Fenchelöl	203	55 59	1,492
Melissenöl	201	56 26	1,480

Digitized by Google

	k.	I.	n.
Kümmelöl	0,00200	56° 3′	1,489
Wachholderöl	200	55 57	1,479
Pfefferöl	195	46 5	1,490
Copaivaeöl	193	56 27	1,498
Serpillumöl	191	55 47	1,479
Lorbeeröl	189	56 59	1,540
Nelkenöl	189	56 56	1,535
Benzoëäther	188	56 55	1,503
Bromirte holländische Flüssigkeit . .	185	56 52	1,532
Oenanthol	183	51 51	1,4119
Chamillenöl	174	55 27	1,456
Kampferöl	168	55 48	1,461
Pimentöl	166	56 41	1,531
Sadebaumöl	168	55 45	1,472
Aceton	165	53 55	1,3591
Oxaläther	154	55 45	1,4068
Chloral	154	55 25	1,461
Essigäther	117	53 45	1,367
Essigsaures Methylen	101	53 47	1,359
Neutrale Substanzen.			
Schwefelsaures Eisensesquioxyd, 7 : 4 .	0	55 33	1,458
do. do. 1 : 1 .	0	55 3	1,431
Glycerin	0	54 42	1,413
Neutrales essigsaures Bleioxyd, gesättigt	0	54 3	1,379
Manganchlorür 1 : 2	0	53 29	1,350
Goldchlorür 2 : 13	0	53 18	1,312
Salpeters. Nickel 1 : 3	0	53 8	1,331
Negative Substanzen.			
Saures chromsaures Kali 1 : 6 . . .	0,00170	53 24	1,346
Schwefelsaures Kupferoxyd, gesättigt .	171	53 49	1,359
Jodkalium 1 : 4	206	53 25	1,347
Essigsaures Kupfer, gesättigt	213	53 6	1,333
Chlorzink 2 : 3	378	54 30	1,401
Platinchlorid 2 : 13	400	53 27	1,349
Salpetersaures Uranoxyd	430	53 27	1,349
Chromalaun 1 : 4	514	53 28	1,355
Salpetersaures Natron 3 : 2	561	53 24	1,389
Wasser	577	53 7	1,333
Salpetersaures Kali, gesättigt	666	53 37	1,357
Basisch essigsaures Blei, gesättigt . .	1027	53 27	1,349
Eisensesquichlorür 1 : 3	1056	53 55	1,372
Chlorzink 1 : 3	1152	53 44	1,371
Schwefelsaures Natron 1 : 4	0,01383	53 28	1,344

Beim Durchlaufen dieser Tafel wird man das von uns für die starren Körper aufgefundene allgemeine Gesetz der Veränderungen von *k* und *n* bestätigt finden, *mit dem Um-*

Digitized by Google

stand, daſs *n* nicht immer abnimmt, wenn ε für die positiven Substanzen ab-, und für die negativen zunimmt.

Man wird auch sehen, daſs die Flüssigkeiten, welche das Licht geradlinig polarisiren, äuſserst verschiedene, von 1,33 bis 1,45 gehende Brechungsindexe haben. Es ist jedoch dabei hinzuzufügen, daſs die angewandten Verfahren nicht darüber entscheiden können, ob die Ellipticitätscoëfficienten durchaus Null seyen; sie können nur beweisen, daſs dieselben kaum merklich sind, und daher könnten möglicherweise die als neutral betrachteten Substanzen es nicht absolut seyn.

Die negativen Substanzen, welche wir antrafen, sind ausschlieſslich Salzlösungen; einige derselben haben einen höheren Brechungsindex als gewisse positiv polarisirende Aether. Sie erlauben eine nützliche Bemerkung zu machen; nämlich, daſs im Allgemeinen, wenn man dem Wasser Salz hinzufügt, der Coëfficient *k* desselben wächst, und, ohne positiv zu werden, sehr groſse Werthe annehmen kann, und, wenn man die Concentration der Lösung erhöht, der Coëfficient *E* abnimmt, Null wird und zu positiven Werthen übergeht. Dieſs erhellt aus den unten folgenden Versuchen mit Chlorzink und salpetersaurem Kupfer.

Endlich müssen wir bemerken, daſs von den starren Körpern die positiven einen sehr groſsen, und die negativen einen sehr kleinen Ellipticitätscoëfficienten hatten, während bei den Flüssigkeiten das Gegentheil stattfindet.

Tafel V. — *Chlorzink.*

Verhältniſs vom Salz zum Wasser.	*k.*	*I.*	*n.*
Gesättigt.	+ 0,00213	56° 34'	1,548
25 : 15	+ 0,00103	55 30	1,455
75 : 75	+ 0,0092	55 0	1,443
20 : 80	— 0,00378	54 30	1,401
20 : 60	— 0,01152	53 44	1,371
0	— 0,00577	53 7	1,333

Digitized by Google

Tafel VI. *Salpetersaures Kupfer.*

Verhältniſs vom Salz zum Wasser.	*k.*	*J.*	*n.*
Gesättigt.	+ 0,00135	55° 40′	1,464
75 : 15	+ 0,0085	55 32	1,457
80	+ 0,0073	55 12	1,439
1 : 1	— 0,00206	54 27	1,399
1 : 2	— 0,00264	53 48	1,366
0	— 0,00577	53 7	1,333

Es bleibt mir noch übrig von einigen Versuchen zu sprechen, die ich zuletzt auf den Rath des Hrn. Cauchy anstellte, um seine Theorie noch auf eine Probe zu stellen, die nicht in allen Fällen den mathematischen Voraussetzungen entspricht.

Ich sagte vorhin, der Elliptieitätscoëfficient wurde gegeben durch die Formel

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{k''\lambda} - \frac{2\pi}{k_{\prime\prime}\lambda}$$

worin k'' und $k_{\prime\prime}$ die Auslöschungscoëfficienten der in der reflectirenden Substanz und in der Luft verschwindenden Strahlen bezeichnen.

Dieser Ausdruck, auf alle möglichen Fälle angewandt, gilt auch für eine zweite reflectirende Substanz, deren Coëfficient $\varepsilon_{\prime}$ wäre:

$$\varepsilon_{\prime} = \frac{2\pi}{k''\lambda} - \frac{2\pi}{k_{\prime\prime}\lambda}.$$

Gesetzt nun, man lege, nach dem ε und $\varepsilon_{\prime}$ bestimmt worden, die beiden Substanzen, von denen wenigstens eine flüssig seyn muſs, auf einander, dann wird der Elliptieitätscoëfficient beim Contact seyn:

$$\varepsilon_{\prime\prime} = \frac{2\pi}{k''_1\lambda} - \frac{2\pi}{k_{\prime\prime}\lambda} = \varepsilon_{\prime} - \varepsilon.$$

Es können nun drei Fälle eintreten:

1. Von den Coëfficienten ε_1 und ε ist der erste positiv und der zweite negativ; alsdann ist ε_2 positiv und numerisch gleich der Summe der Coëfficienten der beiden auf einander gelegten Körper.

Digitized by Google

2. Die beiden Gröſsen ε_1 und ε können von gleichen Zeichen seyn, alsdann ist ε_2 gleich ihrem Unterschiede; und wenn sie gleich wären, würde die geradlinige Polarisation wiederhergestellt seyn.

3. Ist ε_1 negativ und ε positiv, so wird ε_2 negativ und numerisch gleich der Summe von ε_1 und ε_2.

Um diese Reflexionsversuche an der Trennungsfläche zweier Mittel anzustellen, muſste ich eine neue Complication in meinen Apparat einführen. Auf den Alhidaden der beiden Fernröhre D und E und in Verlängeung der letzten lieſs ich zwei Kupferröhren befestigen, die nach Belieben fortgenommen werden konnten und an ihrem dem Centro nahen Ende verschlossen waren durch ein auf ihrer Richtung winkelrechtes Parallelglas. Beim Versuche tauchten diese Enden in die über einander geschichteten Flüssigkeiten und der Ein- oder Austritt der Componenten des einfallenden oder reflectirten Strahls geschah an derselben normal, ohne eine Aenderung in deren Azimut, Phase oder Intensitätsverhältniſs zu erleiden.

Um den ersten Fall zu prüfen, machte ich zwei Versuchs-Reihen, bei welchen die Reflexion an einem Planglase geschah, welches mit Wasser oder der vorhin angewandten Eisenchlorür-Lösung übergossen worden war.

Die Reflexionsconstanten am Contact des Wassers und des Glases waren nach der Theorie:

$$n_2 = \frac{n_1}{n} = 1,115; \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon = +0,01329$$

nach der Beobachtung:

$$n_2 = 1,115; \quad \varepsilon_2 = +0,02078.$$

Der beobachtete Werth von ε_2 übersteigt also den nach der Theorie berechneten beträchtlich.

Bei Ersetzung des Wassers durch Eisensesquichlorür fand ich

Nach d. Theorie . . . . $n_2 = 1,094 \quad \varepsilon_2 = +0,01808$
Nach d. Versuch . . . . $n_2 = 1,091 \quad \varepsilon_2 = +0,01355$

Hier ist der beobachtete Werth von ε_2 kleiner als der berechnete.

Digitized by Google

Die in beiden Fällen ausgeführten Beobachtungen waren übrigens folgende; sie bestätigen die allgemeinen Gesetze, welche in allen Reflexionsfällen die Anomalien und die Amplitudenverhältnisse regeln.

Tafel VII. — *Glas unter Wasser.* (*Positive Reflexion.*)

$\varepsilon = + 0{,}02078.$ $I = 58^\circ\, 7'.$ $n = 1{,}115.$

Incidenz.	Mikrometer.	Interferenz beobachtet.	Interferenz berechnet.	Wiederhergestelltes Azimut.	[illegible] ω beob.	[illegible] ω ber.
90° 0′	+ 0,00	+2,000	+2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0′
49 0	+ 1,51	+1,881	+1,837	21 30	1 58	1 53
48 48	+ 2,51	+1,823	+1,794	17 0	1 32	1 32
48 36	+ 2,79	+1,791	+1,745	14 0	1 15	1 15
48 24	+ 3,76	+1,705	+1,665	12 0	1 4	1 2
48 18	+ 4,61	+1.639	+1,613	11 0	0 58	0 57
48 12	+ 5,66	+1,556	+1,553	10 15	0 54	0 54
48 6	+ 6,46	+1,493	+1,477	8 0	0 42	0 36
48 0	+ 6,76	+1,470	+1,425	10 0	0 53	0 55
47 54	+ 7,74	+1,393	+1,367	11 30	1 1	0 59
47 48	+ 9,03	+1,292	+1,317	12 30	1 7	1 3
47 36	+ 9,71	+1,238	+1,239	16 30	1 29	1 17
47 24	+10,37	+1,186	+1,186	18 30	1 41	1 36
47 12	+10,43	+1,182	+1,154	21 30	1 58	1 53
47 6	+10,73	+1,158	+1,137	22 0	2 1	2 6
46 48	+10,89	+1,146	+1,111	25 0	2 20	2 33
0 0	+12,75	+1,000	+1,000	85 0	45 0	45 0

Tafel VIII. *Glas unter Eisenchlorür.* (*Positive Reflexion.*)

$\varepsilon = + 0{,}01355.$ $I = 47^\circ 30'.$ $n = 1{,}091.$

90° 0′	+ 0,00	+2,000	— 2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0′
48 40	+ 1,16	+1,910	— 1,895	22 15	2 3	2 16
48 25	+ 1,30	+1,898	— 1,894	22 30	2 5	1 47
48 17	+ 1,51	+1,877	— 1,875	17 30	1 35	1 34
48 2	+ 2,02	+1,841	— 1,830	11 10	0 59	0 55
47 50	+ 3,15	+1,753	— 1,763	10 30	0 56	0 51
47 44	+ 3,82	+1,700	— 1,703	7 15	0 38	0 43
47 39	+ 4,59	+1,646	— 1,643	6 30	0 34	0 41
47 32	+ 5,93	+1,535	— 1,534	6 20	0 31	0 34
47 30	+ 6,37	+1,500	— 1,500	6 30	0 34	0 34
47 27	+ 6,89	+1,460	— 1,449	7 35	0 40	0 35
47 20	+ 8,28	+1,351	— 1,343	7 55	0 42	0 39
47 11	+ 9,71	+1,239	— 1,246	9 20	0 49	0 49
47 4	+10,07	+1,210	— 1,197	10 0	0 53	0 59
46 47	+10,35	+1,141	— 1,129	15 0	1 21	1 26
46 35	+11,35	+1,111	— 1,114	20 0	1 49	1 47
46 25	+11,59	+1,091	— 1,095	24 30	2 17	1 55
46 16	+11,70	+1,082	— 1,077	28 15	2 41	2 21
46 3	+11,93	+1,064	— 1,067	34 22	3 25	2 44
45 30	+12,45	+1,027	— 1,050	37 0	3 46	3 33
0	+12,75	+1,000	— 1,000	85 0	45 0	45 0

Digitized by Google

Zur Untersuchung des zweiten Falles, wo zwei Substanzen mit Coëfficienten von gleichem Zeichen einander überdecken sollen, brachte ich Lavendelöl auf Glas. Die Theorie giebt an, daſs die Coëfficienten in der Luft einander subtrahiren, und daſs ε_2 den Werth $+0{,}00502$ habe, einen Werth, der gröſser ist als der aller von mir untersuchten Flüssigkeiten und deshalb bei dem Versuch nicht entgehen könnte. Deſsungeachtet schien mir die Polarisation genau geradlinig zu seyn.

Man sieht, die Erfahrung bestätigt die theoretischen Angaben nicht vollständig; sie zeigt zwar, daſs beim Contact zweier Körper die Elliplicitätscoëfficienten bedeutend zunehmen, wenn die individuellen Werthe von ε in der Luft entgegengesetztes Zeichen besitzen, und daſs sie Null werden, wenn diese von gleichem Zeichen sind; allein sie bestätigt nicht numerisch die Schlüsse des Hrn. Cauchy. Indeſs würde ich wegen der geringen Lichtmenge, die beim Contact zweier Körper reflectirt wird, und wegen der Schwierigkeit aller Art, welche diese Versuche mit sich führen, auf diese Abweichungen keine sehr groſse Wichtigkeit legen, wenn nicht der dritte Fall, der mir noch zu untersuchen übrig bleibt, Unregelmäſsigkeiten dargeboten hätte, welche durch Beobachtungsfehler nicht zu erklären sind.

Ich habe Lavendelöl auf eine Schicht Wasser gegossen. Die Anomalie hätte negativ seyn müssen, mit einem Ellipticitätscoëfficienten $= -0{,}00827$; statt deſs war sie positiv und $\varepsilon = +0{,}01160$. Als ich bei diesem Versuch das Lavendel- durch Terpenthinöl ersetzte, hatte ich eine geradlinige Polarisation, während ich, der Theorie nach, eine elliptische mit negativer Anomalie hätte erhalten müssen.

Es giebt hier ohne Zweifel eine Complication, welche die Theorie des Hrn. Cauchy nicht vorausgesehen hat. Es läſst sich nämlich denken, daſs beim Contact zweier Körper, wenn der eine von ihnen flüssig ist, eine Molecularaction stattfindet, die man nicht in dem Calcul berücksichtigte und die sich der Verification widersetzt. Jedenfalls erfordert dieser Punkt neue Versuche, die mir sehr

Digitized by Google

interessant zu seyn scheinen und die ich schon unternommen haben würde, wenn ich nicht durch den Winter gezwungen worden wäre, sie einer künftigen Abhandlung vorzubehalten.

Schlüsse.

Die gegenwärtige Abhandlung bestätigt die Schlüsse meiner früheren; sie zeigt:

1. Daſs flüssige Oberflächen das Licht unvollständig und elliptisch polarisiren.

2. Daſs Flüssigkeiten, deren Brechungsindex groſs ist, eine positive Anomalie besitzen.

3. Daſs diese Anomalie bei sehr kleinem Index negativ ist.

4. Daſs bei Flüssigkeiten mit einem Index von beinahe 1,40 die Polarisation geradlinig ist.

5. Daſs die Gesetze der Intensitäten und der Anomalien durch Hrn. Cauchy's Formeln ausgedrückt werden.

6. Daſs die Reflexion an der Trennungsfläche zweier über einander geschichteten Substanzen denselben Gesetzen folgt.

7. Daſs es in diesem Falle unmöglich ist, den Werth und das Zeichen des Ellipticitätscoëfficienten vorauszusagen.

Ueberdieſs enthält diese Abhandlung eine Tafel über die Reflexionsconstanten einer gewissen Anzahl von Flüssigkeiten.

Digitized by Google

V. *Beiträge zur Analyse einiger Metalllegirungen; von C. Brunner.*

(Aus d. Mittheil. d. naturforsch. Ges. in Bern; von Hrn. Verf. mitgetheilt.)

1. Bestimmung des Kupfers.

Die quantitative Bestimmung dieses Metalles geschieht, wenn kein anderes in der Auflösung enthalten ist, am leichtesten durch Niederschlagen mit Kali und Wägung des gut gewaschenen und geglühten Oxydes. Bei Legirungen, z. B. mit Zink, Eisen und Nickel, tritt häufig der Fall ein, daſs dasselbe von den genannten Metallen durch Fällung mit Schwefelwasserstoff getrennt werden muſs. Der so erhaltene Niederschlag von Schwefelkupfer kann aus bekannten Gründen nicht direct gewogen und daraus die Menge des Kupfers berechnet werden. Man pflegt ihn daher wieder in Säure aufzulösen und nach erstgenannter Methode durch Kali das Kupferoxyd niederzuschlagen.

Viel leichter und vollkommen sicher gelangt man jedoch durch folgendes Verfahren zum Zwecke, welches sich darauf gründet, daſs dieser Niederschlag beim Erhitzen in einem Strome von Wasserstoffgas zu Halbschwefelkupfer ($Cu_2 S$) umgewandelt wird [1]).

Nachdem, vorausgesetzt daſs keine andern durch Schwefelwasserstoff fällbaren Metalle zugegen sind, das Kupfer

1) Schon vor mehreren Jahren beschrieb ich diese Methode das Kupfer zu bestimmen. Es scheint jedoch dieselbe nicht beachtet worden zu seyn (s. Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern 1844, p. 15).

In neuster Zeit hat Pelouze eine Bestimmungsmethode des Kupfers beschrieben, welche darauf hinausgeht, dasselbe durch eine titrirte Auflösung von Schwefelnatrium aus seiner mit Ammoniak im Ueberschuſs versetzten Lösung zu fällen und seine Menge aus der Menge der verbrauchten Schwefelnatriumlösung zu bestimmen. Dieses Verfahren, wenn es auch in vielen Fällen richtig seyn mag, ist jedenfalls umständlich, und besonders wenn nachher noch die anderen Metalle bestimmt werden sollen, gewiſs mit weit mehr Schwierigkeiten verbunden als das hier zu beschreibende (M. s. *Annales de Chim. et de Phys.* 3e *sér. XVII.* 393 und Rose, ausführl. Handbuch d. analyt. Chemie II. 196).

Digitized by Google

durch einen anhaltenden Strom dieses Gases gefällt worden, läſst man den Niederschlag die Nacht über mit der Flüssigkeit in Berührung. Alsdann wird noch eine kurze Zeit hindurch Gas durchgeleitet und zur Filtration geschritten, welche nunmehr, da sich der Niederschlag etwas compacter abgesetzt hat, leichter als unmittelbar nach der Fällung vor sich geht. Aus bekannten Gründen muſs die Filtration nicht unterbrochen werden und das Auswaschen mit Schwefelwasserstoff haltendem Wasser sogleich darauf folgen. Der Niederschlag wird hierauf am besten in dem Filtrirtrichter selbst [1]) getrocknet, und was sich bequem vom Filter abnehmen läſst auf ein glattes Papier, das Filter dagegen mit dem noch daran befindlichen Schwefelkupfer seiner Länge nach cylindrisch zusammengerollt in eine Glasröhre gebracht, deren Weite etwa $\frac{1}{2}$ Zoll beträgt und von solcher Länge, daſs auf der hintern Seite des Filters etwa 1 Zoll leerer Raum bleibt. Auf der einen (vordern) Seite ist diese Röhre zu einer kurzen Spitze ausgezogen und diese durch einen kleinen Propf von Amianth leicht geschlossen. Mit dem anderen Ende wird die Röhre mit einem Gefäſs in Verbindung gesetzt, aus welchem ein durch Schwefelsäure getrockneter Strom atmosphärischer Luft durch den Apparat geleitet werden kann. Mittelst einer Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge wird nun die das Filter enthaltende Glasröhre vorsichtig erhitzt, während der Luftstrom hindurch geht, und damit unter zweckmäſsigem Fortrücken der Lampe so lange fortgefahren, bis das Filter vollkommen verbrannt ist. Nach dem Erkalten des Apparates fügt man das anfänglich vom Filter genommene Schwefelkupfer dem Inhalte der Röhre hinzu und setzt diese mit einem Apparate in Verbindung, aus welchem ein Strom trocknes Wasserstoffgas entwickelt wird. In diesem Strome wird nun das Schwefelkupfer auf gleiche Weise

1) Nimmt man ihn nämlich, wie es gewöhnlich geschieht, noch feucht mit dem Filter aus dem Trichter heraus und legt ihn auf Löschpapier, so wird leicht ein kleiner Antheil oxydirt und von dem Papier eingesogen.

Digitized by Google

wie früher das Filter in dem Strome atmosphärischer Luft fortschreitend erhitzt, zuletzt bis zum leichten Glühen, so lange als bei der Spitze der Röhre noch Schwefeldampf herausdringt, welches sich am leichtesten durch Anzünden des austretenden Gases erkennen läſst.

Erhitzt man dabei etwas zu stark, so geschieht es zuweilen, daſs das entstehende Halbschwefelkupfer durch anfangendes Schmelzen zusammenbackt und einige Theilchen, durch Einschlieſsen, der Wirkung entgehen. Es ist alsdann nöthig, und überhaupt in jedem Falle rathsam, nach Beendigung der Erhitzung und Erkalten der Röhre, den Inhalt derselben in eine glatte Reibschale, am besten einen Achatmörser, herauszuschütten, zu zerreiben und noch einmal auf oben angegebene Weise im Wasserstoffstrome zu erhitzen. Man wird fast immer noch etwas Schwefel austreten sehen. Dieses Herausnehmen und Zerreiben geht übrigens leicht und ohne den geringsten Verlust vor sich, da sich das Schwefelkupfer nicht im mindesten an die Reibschale anhängt.

Das Wägen des so dargestellten Halbschwefelkupfers geschieht am leichtesten dadurch, daſs die Röhre (sammt dem Amianthpfropf) vor der Operation zugleich mit einem Gewichtsstücke, welches das muthmaſslich zu erhaltende Schwefelkupfer übertrifft, tarirt und nachher bei der Wägung des Productes das Gewichtstück durch die nöthigen kleinern Gewichte ersetzt und diese von jenem abgezogen werden.

Bei mehreren Versuchen gaben genau gewogene Mengen frisch geglühtes Kupferoxyd in Säure gelöst, mit Schwefelwasserstoff gefällt und auf oben angeführte Art behandelt, genau so viel Halbschwefelkupfer als Oxyd in Anwendung gebracht worden war, welches der Formel Cu_2 S entspricht.

2. Bestimmung des Zinnes.

Die fast ausschlieſslich angewandte Methode, die Menge dieses Metalles in Legirungen zu bestimmen, besteht be-

Digitized by Google

kanntlich darin, daſs man dieselben hinlänglich zerkleinert mit Salpetersäure behandelt, so lange diese etwas auszieht, das zurückbleibende Zinnoxyd (sogenannte Metazinnsäure) auswäscht und glüht und aus der erhaltenen Quantität das Metall berechnet [1]).

Mehrere neuere Schriftsteller machen mit Recht auf den Umstand aufmerksam, daſs bei diesem Verfahren leicht eine kleine Menge jener ausziehbaren Metalle durch Einschlieſsung in dem zurückbleibenden Zinnoxyd der Wirkung der Säure entgehen könne. Es ist dieses um so eher der Fall, wenn die angewandten Proben nicht hinlänglich zerkleinert waren. Dieses Zerkleinern ist nun bei manchen Legirungen etwas schwierig. Auch können leicht durch die dabei angewandten Instrumente fremde Dinge, wie Eisen, hineingebracht werden.

Sehr leicht gelangt man durch folgendes Verfahren zum Zwecke.

Man löst die Probe in gröbern Stückchen, auch wohl in *einem* Stücke, in verdünnter Salpetersalzsäure auf. Zu diesem Ende wird dieselbe genau gewogen, z. B. 1 Gramm in ein etwas groſses (etwa 12 Unzen Wasser fassendes) Medicinglas gebracht und mit einer Mischung aus 1 Theil Salpetersäure, 4 Theilen Salzsäure und 5 Theilen Wasser übergossen, gelinde erwärmt, wobei man diese Flüssigkeit nur ungefähr in der zur Auflösung nöthigen Menge nach und nach zusetzt. 1 Gramm Metall erfordert zur Auflösung ungefähr 20 Gramm jener Säuremischung. Ist die Auflösung erfolgt, so wird das Glas ungefähr zur Hälfte mit Wasser gefüllt und die so verdünnte Flüssigkeit mäſsig erwärmt. Alsdann wirft man so lange Krystalle von kohlensaurem Natron hinein, bis ein ordentlicher Niederschlag entstanden, und bringt die Flüssigkeit ins Kochen. Enthält die Legirung Kupfer, so hat der Niederschlag anfangs eine blaugrüne Farbe, welche, wenn eine hinlängliche Menge

1) Es darf kaum bemerkt werden, daſs es sich hier nicht um die Analysen von solchen Legirungen handelt, welche in Salpetersäure unlösliche Metalle, wie Gold und Platin, enthalten.

Digitized by Google

kohlensauren Natrons zugeführt worden, beim Sieden ins Braune übergeht. Sollte dieses nicht erfolgen, so wirft man noch kleine Krystalle jenes Salzes hinein, bis die braune oder beinahe schwarze Färbung des Niederschlages eintritt. Dieses Hinzufügen mufs, der ziemlich starken Entwicklung von Kohlensäure wegen, mit einiger Vorsicht geschehen. Aus diesem Grunde ist auch anfänglich bei der Auflösung ein ohnehin unnützer Ueberschufs von Säure zu vermeiden.

Nachem die Flüssigkeit mit dem Niederschlage 10 bis 15 Minuten gekocht worden, läfst man sie etwas abkühlen und setzt tropfenweise Salpetersäure hinzu, bis eine deutliche saure Reaction eingetreten ist und der zurückbleibende Antheil des Niederschlages, nach mehrstündiger Digestion in gelinder Wärme, eine rein weifse Farbe angenommen hat. Er wird nun auf das Filtrum gebracht, ausgewaschen, getrocknet, geglüht und als Zinnoxyd bestimmt.

Das auf diese Art erhaltene Zinnoxyd wird man stets vollkommen frei von Kupfer finden. Dagegen enthält es leicht eine Spur von Eisen, welches Metall, wie man weifs, vielen Niederschlägen sehr hartnäckig anhängt. Die Menge desselben ist jedenfalls höchst unbedeutend und für alle technischen Untersuchungen gänzlich zu vernachlässigen. Wollte man sie jedoch bestimmen, so müfste man das Oxyd, am besten vor dem Glühen, durch Kochen mit Salzsäure auflösen, das Zinn durch Schwefelwasserstoff fällen und hierauf das Eisen, nachdem es wieder durch ein wenig rauchende Salpetersäure oxydirt worden, auf die bekannte Art durch ätzendes Ammoniak niederschlagen.

Dieser letztere Umstand findet übrigens auch bei der gewöhnlichen Bestimmungsart durch directe Behandlung einer solchen Legirung mit Salpetersäure statt. Das zurückbleibende Zinnoxyd wird man stets eisenhaltig finden, welches bisher übersehen worden zu seyn scheint.

Hat man einen aus einer Metalllegirung verfertigten Gegenstand von bedeutender Gröfse zu analysiren, bei welchem aus bekannten Gründen das Mischungsverhältnifs nicht

Digitized by Google

an allen Stellen, genau das nämliche seyn könnte, und wünscht man ein Mittel des ganzen Stückes zu erhalten, so werden zwei oder drei Proben an geeigneten Stellen ausgewählt, diese in gleicher Gröſse, z. B. jede zu 0,5 Gramm auf die eben beschriebene Art in Salpetersalzsäure gelöst und nun die Analyse mit der Auflösung, die alle 2 bis 3 Proben enthält, ausgeführt. Ein solcher Fall kann bei manchen technischen Arbeiten, z. B. beim Umgieſsen von Geschützen, Glocken, Statuen vorkommen.

3. Bestimmung des Nickels.

Unter der Benennung *Neusilber* oder *Argentan* ist in neuerer Zeit eine Legirung von Kupfer, Zink und Nickel in Anwendung gekommen, die eine nicht geringe technische Wichtigkeit erlangt hat.

Aus den einfachen Lösungen des Nickels ist es sehr leicht dieses Metall durch ätzendes Kali niederzuschlagen und genau zu bestimmen, da der gewaschene und geglühte Niederschlag als Nickeloxyd in Rechnung gebracht werden kann. Ebenso ist die Trennung dieses Metalles von allen denjenigen, die durch Schwefelwasserstoff gefällt werden können, mit keinen Schwierigkeiten verbunden. Sind diese auf solche Art aus der Auflösung abgeschieden, so kann dieselbe unter den gewöhnlich vorkommenden Metallen nur Zink, Nickel und Eisen enthalten. Das letztere wird niedergeschlagen, indem man nach Entfernung des Schwefelwasserstoffes durch Erhitzen und vollständige Oxydation des Eisens durch einige Tropfen rauchender Salpetersäure, einen Ueberschuſs von ätzendem Ammoniak zusetzt, wodurch das Eisenoxyd permanent gefällt wird, die beiden anderen Metalle aber in der ammoniakalischen Auflösung bleiben. Nun tritt aber die Nothwendigkeit ein, dieselben von einander zu trennen. Es ist bekannt mit welchen Schwierigkeiten die Trennung verbunden ist. Alle bisher angegebenen Methoden sind theils ungenügend, theils schwer ausführbar und wohl immer etwas unsicher. Folgendes Verfahren giebt ein der Wahrheit sehr annäherndes Resultat.

Digitized by Google

Dasselbe gründet sich auf den Umstand, daſs das auf trocknem Wege bereitete Schwefelnickel von verdünnter Salzsäure, selbst kochend, beinahe gar nicht angegriffen, das eben so bereitete Schwefelzink dagegen leicht aufgelöst wird. Die Methode ist folgende.

Nachdem aus der Flüssigkeit die übrigen Metalle entfernt sind, werden Zink und Nickel durch kohlensaures Natron kochend gefällt, der Niederschlag annähernd gewaschen [1]), getrocknet und mit Verbrennung des Filters im Platintiegel leicht geglüht. Die auf solche Art erhaltenen Oxyde mengt man in einer glatten Reibschale mit ihrem $1\frac{1}{2}$ fachen Gewichte Schwefel und $\frac{3}{4}$ ihres Gewichtes kohlensauren Natrons, bringt das Gemenge in eine kleine Glasretorte, spült die Reibschale mit noch ein wenig Schwefel nach und bringt auch diesen in die Retorte. Dieselbe wird nun in einem Kohlenfeuer oder bei kleinern Mengen über der Weingeistlampe so weit erhitzt, als es zur vollkommenen Bildung der Schwefelmetalle nöthig ist. Die Erhitzung kann so weit gesteigert werden, als das Glas ohne sich merklich zu senken, aushält. Man läſst die Hitze so lange einwirken, bis der überschüssige Schwefel gröſstentheils sich in den Retortenhals sublimirt hat und die Mischung keine weitere Veränderung zeigt. Eine halbe Stunde wird hierzu hinreichen.

Man übergieſst nun diesen Rückstand mit einer Mischung aus 1 Theil gewöhnlicher Salzsäure mit ungefähr 10 Theilen Wasser, wodurch sie sich besonders bei einiger Erwärmung leicht aufweicht, spült sie durch Behandlung mit mehreren Portionen dieser verdünnten Säure in ein Kochglas und bringt sie zum Kochen. Nach ungefähr einer halben Stunde wird die Flüssigkeit von dem Niederschlage sorgfältig abgegossen und auf ein Filter gegeben, auf welchem die geringe Menge des etwa aufgeschlämmten Schwefelmetalls zurückbleibt.

Die von der Säure nicht gelöste Substanz wird nun noch einmal mit einer neuen Menge verdünnter Salzsäure

1) Ein vollkommenes Auswaschen ist unnöthig.

Digitized by Google

eben so behandelt und diese zweite Lösung durch d
lerweile etwas ausgewaschene Filter, welches bei de
Abkochung gedient hatte, gegossen, jedoch in eine
dere Flasche filtrirt. Nun bringt man diese zweite
chung zum Sieden und wirft vorsichtig so lange K
von kohlensaurem Natron hinein als Aufbrausen
Entsteht hierbei ein merklicher Niederschlag von Zi
so muſs noch eine dritte Abkochung auf die glei
vorgenommen und auch diese, nachdem sie filtrirt
mit kohlensaurem Natron behandelt werden. Sie wir
Regel nur eine nicht wägbare Menge von Zinkoxyd
Zuweilen ist dieses schon bei der zweiten der Fall

Man giebt nun den Rückstand in der Kochflas
das Filter, wäscht ihn vollständig aus, vereinigt säm
salzsaure Lösungen mit der Auswaschflüssigkeit und
das Zinkoxyd durch kohlensaures Natron kochend aus
quantitative Bestimmung geschieht auf die bekannte

Um nun das Nickel zu bekommen, wird der
Salzsäure nicht gelöste Rückstand mit dem Filter in
Kochglas gegeben und darin mit Salpetersäure, *die mi*
rem gleichen Volumen Wasser verdünnt ist, überg
und bei gelinder Wärme digerirt. Er löst sich auf
Hinterlassung einer geringen Menge von Schwefel.
man, daſs nichts weiter übrig ist als dieser, so wird
Flüssigkeit mit Wasser verdünnt, filtrirt und das Nickel d
ätzendes Kali oder kohlensaures Natron kochend ge
Rose giebt als Fällungsmittel des Nickels dem ätze
Kali vor dem kohlensauren Natron den Vorzug. N
meiner Erfahrung geschieht durch letzteres die Schei
vollständig, wenn die Auflösung gehörig verdünnt ist
mit einem Ueberschuſs des Fällungsmittels etwa $\frac{1}{2}$ St
lang gekocht wird. In der filtrirten Flüssigkeit giebt
drothionsaures Ammoniak keinen Nickelgehalt mehr zu
kennen.

1) Die Menge der anzuwendenden Säure richtet sich natürlich nach de
Menge der verschiedenen Oxyde. Auf 1 Theil dieser letztern nehme ma
für jede Abkochung 6 Theile Salzsäure und 60 Theile Wasser.

Digitized by Google

Es ist bei dieser Scheidungsmethode zu bemerken, dafs wenn man das Eisen nicht schon früher abgeschieden hätte, dasselbe mit dem Zinkoxyd erhalten würde und dann von diesem auf die bekannte Art getrennt werden könnte. Dieses Verfahren ist vielleicht der vorangehenden Abscheidung dieses Metalles durch Ammoniak im Ueberschufs vorzuziehen. Ich hatte anfangs eine gröfsere Menge von schwefel- und kohlensaurem Natron angewandt, die Erfahrung hat mich aber auf das oben Angegebene geleitet. Bei einer gröfseren Menge dieses Zusatzes schmilzt nämlich die Masse zu einer Schwefelleber, welche sich so fest an das Glas anklebt, dafs die Retorte beim Erkalten fast immer reifst, welches beim nachherigen Herausspülen des Rückstandes Schwierigkeiten veranlafst. Das kohlensaure Natron ganz wegzulassen, ist nicht anzurathen. Die Erfahrung hat gelehrt, dafs in solchem Falle leicht ein Antheil der Metalloxyde der Schwefelung entgeht und alsdann in dem salzsauren Auszuge Nickel gefunden wird. Endlich ist noch zu bemerken, dafs diese Trennungsmethode nicht gelingt mit Schwefelmetallen, die auf nassem Wege bereitet sind. Aus solchen zieht die Salzsäure nebst dem Zink eine gewisse Menge Nickels aus.

Die Scheidungsmethode giebt, wie natürlich, zugleich das Mittel an die Hand, sich ein reines, zinkfreies Nickel zu verschaffen. Denjenigen, welche sie zu nachheriger Anordnung zu prüfen veranlafst seyn möchten, empfehle ich mit dieser Darstellung anzufangen. Es dürfte sich ergeben, dafs die meisten in den chemischen Sammlungen vorräthigen Nickelpräparate Zink enthalten, da dieses Metall gewöhnlich in dem käuflichen Nickel enthalten ist.

Es ist nun ein Leichtes, sich aus dem oben Angeführten für jeden in der gewöhnlichen Praxis vorkommenden Fall den Plan zu einer Analyse zu entwerfen. Nehmen wir den complicirtesten Fall (der nicht leicht vorkommen dürfte), so ist der Gang bei einer Legirung aus Zinn, Blei, Silber, Kupfer, Nickel und Eisen folgender.

Digitized by Google

1. Auflösen in Salpetersalzsäure und Bestimmung des Silbers aus dem zurückbleibenden Chlorsilber.
2. Niederschlagen mit kohlensaurem Natron kochend.
3. Behandlung des Niederschlages in der Flüssigkeit selbst mit Salpetersäure und Bestimmung des Zinnes.
4. Abscheidung des Bleies durch Abdampfen der mit Schwefelsäure versetzten Lösung zur Trockne und Wiederauflösen in Wasser, Bestimmung des zurückbleibenden schwefelsauren Bleioxydes.
5. Abscheiden des Kupfers mit Schwefelwasserstoff und Bestimmung als Cu_2 S.
6. Austreiben des Schwefelwasserstoffs durch Erhitzen.
7. Niederschlagen des Nickels, Zinks und Eisens mit kohlensaurem Natron, Trocknen und Glühen des Niederschlages.
8. Glühen dieses Niederschlages mit Schwefel und kohlensaurem Natron.
9. Ausziehen mit verdünnter Salzsäure.
10. Kochen dieses Auszuges mit etwas rauchender Salpetersäure, um das Eisen zu oxydiren, oder Behandlung mit ein wenig Chlorgas.
11. Abscheidung des Eisenoxydes durch ätzendes Ammoniak im Ueberschufs.
12. Abscheidung des Zinkoxydes aus der Lösung No. 11 mit kohlensaurem Natron kochend.
13. Auflösen des Schwefelnickels (Rückstand von No. 9) in Salpetersalzsäure und Fällen des Nickeloxydes durch ätzendes Kali oder kohlensaures Natron kochend.

Modificationen bei Abwesenheit einzelner Metalle sind folgende:

1. Ist kein Silber zugegen, so fällt dessen Bestimmung in No. 1 weg.
2. Bei Abwesenheit von Blei fällt No. 4 weg.
3. Ist die Bestimmung des Eisens (der geringen Menge wegen) unnöthig, so fällt No. 10 und 11 weg.
4. Bei Abwesenheit von Nickel fällt No. 7, 8, 9, 13 weg.
5. Bei Abwesenheit von Zink fällt No. 12 weg.

Digitized by Google

6. Bei Abwesenheit von Zinn fällt No. 2 und 3 weg.
7. Bei Abwesenheit von Zinn und Silber kann die ursprüngliche Auflösung in Salpetersäure geschehen.
8. Bei Abwesenheit von Zinn kann das Silber aus der salpetersauren Lösung auf die bekannte Art durch Salzsäure gefällt werden.

Anhang.

Es mag nicht überflüssig seyn, hier eine Vorrichtung zu beschreiben, welcher ich mich seit mehreren Jahren bei allen solchen Versuchen mit fortschreitender Erhitzung in Röhren bediene und die sich stets bewährt hat.

Ist der zu erhitzende Körper zwischen zwei Asbestpfropfen, oder wo es angeht ohne solche, so in eine horizontal liegende Röhre gebracht, daſs ein kleiner Raum über demselben für das durchstreichende Gas leer bleibt, so wird über der Röhre ein aus schwarzem Eisenblech gewölbartig geformter Schirm von etwa 3 Zoll Länge in der Entfernung von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll angebracht, welcher die doppelte Bestimmung hat, durch Reverberation den oberen Theil der Röhre zu erhitzen und zugleich den der Flamme zunächst liegenden aber noch nicht direct erhitzten Theil der Röhre so weit zu erwärmen, daſs daselbst kein Wasser sich ansetzt, so daſs, wenn bei dem Fortrücken der Lampe diese Stelle stärker erhitzt wird, sie bereits vorgewärmt ist. Mit dem Fortrücken dieser letztern muſs wie natürlich auch jener Schirm vorgerückt werden, so daſs er immer die gleiche Stellung zur Lampe behält. Man könnte ihn deshalb auch mit derselben direct verbinden, doch finde ich es bequemer ihn auf einen eigenen Fuſs zu befestigen, da man öfter im Falle ist ihn momentan hinweg zu nehmen, um die Arbeit zu beobachten. Es gehört eine geringe Uebung dazu, sich dieser Vorrichtung zu bedienen. Niemals wird eine Röhre reiſsen. Dieser Apparat ersetzt auf eine zweckmäſsige Art in allen den Fällen, wo man es nicht mit einem flüssigen Körper zu thun hat, die sogenannte Kugelröhre und ist weit bequemer zu behandeln.

Digitized by Google

Die Lampe, welcher ich mich bediene, ist der von Rammelsberg beschriebenen ähnlich, doch dadurch verschieden, daſs sie nicht unmittelbar an dem Ständer festgeschraubt ist, sondern ganz frei auf einem hölzernen Cylinder ruht, welcher durch eine Schraube in der erforderlichen Höhe befestigt wird (Taf. III. Fig. 7). Durch diese Einrichtung wird nämlich der Vortheil erlangt, sie durch eine leichte Drehung schnell zu bewegen, welches in manchen Fällen sehr nützlich ist. Unmittelbar unter der Flamme ist die den Docht enthaltende Röhre mit einer Blechkapsel versehen, welche mit Wasser gefüllt wird und die Bestimmung hat, bei lange andauerndem Gebrauche durch Abkühlung das Sieden des Weingeistes zu verhindern. Es ist kaum nöthig zu bemerken, daſs das Weingeistgefäſs eine gewöhnliche Flasche von ungefähr 6 bis 7 Unzen Inhalt ist, deren Boden abgeschnitten und durch eine flache Kapsel von Messingblech, aus welcher die Röhre das Brennmaterial zur Lampe führt, ersetzt ist. Eine Mariotte'sche Röhre, um den Zufluſs zu reguliren, anzubringen, halte ich für überflüssig. Das Einkitten der Flasche in dem Blechboden geschieht durch einen Kitt aus gleichen Theilen Mennige und Bleiweiſs mit Leinölfirniſs angeknetet. Ist dieser Kitt während 14 Tagen getrocknet, so wird er vom Weingeist nicht aufgeweicht.

VI. *Ueber die Anwendung der Sirene und des akustischen Flugrädchens zur Bestimmung des Spannungsgrades der Wasserdämpfe und der comprimirten Luft; von Dr. Christian Doppler,*

Director des k. k. physikalischen Institutes.

(Aus den Sitzungsberichten der math.-naturw. Classe d. k. Akad. d. Wiss. vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Vor etwas mehr als einem Jahre hatte ich das wissenschaftliche Publicum auf ein Mittel aufmerksam gemacht,

Digitized by Google

den Spannungsgrad des Wasserdampfes und der comprimirten Luft durch das Gehör zu bestimmen, und ich ermangelte damals nicht, auf möglichst eindringliche Weise auf die Wichtigkeit einer wissenschaftlichen Angelegenheit aufmerksam zu machen, die mit der Sicherheit des Lebens von Tausenden von Menschen in einem so unmittelbaren und leicht ersichtlichem Zusammenhange steht. Ich habe einen darauf bezüglichen Vortrag in der naturwissenschaftlichen Classensitzung der kais. Akademie der Wissenschaften vom 11. October 1849 gehalten [1]), und war auch sonst mehrseitig bemüht, dieser Idee möglichste Verbreitung und Eingang zu verschaffen. Ich verhehle es nicht, daſs ich damals die sichere Erwartung hegte, man werde diesem, wie es mir schien, nicht unfruchtbaren Gedanken einige Aufmerksamkeit schenken, ihn einer experimentellen Prüfung würdigen, und ihn so für das practische Leben nutzbringend zu machen suchen. Allein hierin hatte ich mich getäuscht! — Mittlerweilen sah ich mich durch meine veränderte amtliche Stellung in die Lage versetzt, und zwar im physikalischen Institute, dem ich vorstehe, die gewünschten Versuche, wenigstens bis zu jenem Spannungsgrade der Wasserdämpfe, welcher in der Regel bisher bei unseren Locomotivfahrten höchstens in Anwendung kommt, selber durchführen zu können, und die Resultate dieser Versuche sind es nun eben, welche ich nunmehr einem wissenschaftlichen Publicum, gleichsam als eine nothwendige Ergänzung zu den früher angestellten Betrachtungen, mitzutheilen beabsichtigte.

Der erste vorläufige Versuch wurde mittelst eines Digestors und der eigentlichen Sirene des Cagniard de la Tour mit Zählapparat unternommen, und er bezog sich auf Wasserdämpfe von nur sehr geringer Spannung.

Schon der Erfolg dieses ersten Versuches war ein sehr befriedigender. Der Ton blieb bei sich gleichbleibender Spannung vollkommen gleich und änderte sich, wie ich es

1) Auch abgedruckt im October-Hefte der Sitzungsberichte der kaiserl Akademie der Wissenschaften für 1849.

Digitized by Google

vorausgesagt hatte, bei allmälig sich steigernder oder nachlassender Tension der Dämpfe auf eine mit der Theorie genau übereinstimmende Weise. Entsprechend der Höhe und Tiefe des Tons war natürlich auch die Indication des leicht zu handhabenden Zählapparates.

Ein ganz unbedeutender Uebelstand, welcher sich jedoch durch eine etwas abgeänderte Construction oder vielmehr durch Aenderungen einzelner Dimensionen hätte leicht beheben lassen, bestand darin, daſs, veranlaſst durch die theilweise Condensation des ausströmenden Wasserdampfes, sich alsobald zwischen der rotirenden Scheibe und der Kammer eine Wasserschicht bildete, die zwar einen luftdichten Verschluſs gegen Auſsen bedingte, die Peripherie der Scheibe aber in Wasser waten machte. Dieſs, in Verbindung vielleicht mit der Trägheit der für diese Versuche offenbar zu massiven Scheibe und der Reibung im Zählapparate, bewirkte wenigstens bei diesem, mit Wasserdämpfen von so geringer Spannung angestellten Versuche, daſs die Sirene erst in Thätigkeit trat, nachdem die Spannung der Dämpfe bereits eine gewisse, wenn auch nur sehr geringe Höhe erreicht hatte, wobei ihr Ton sodann freilich in Zeit von wenigen Sekunden zu der jener Spannung entsprechenden Höhe anschwoll, auf der er auch, so lange sich dieselbe nicht merklich änderte, constant verblieb. Dieser wenn ich ihn anders so nennen soll, kleine Uebelstand, für welchen ich keine augenblickliche Abhülfe wuſste, veranlaſste mich, der Sirene einen anderen mir ebenfalls zur Hand liegenden kleinen Apparat, dessen Construction wesentlich auf denselben Principien beruht und zu denselben akustischen Zwecken bereits vielfach benutzt wurde, nämlich das sogenannte akustische Flugrädchen zu substituiren, und ich beschloſs zugleich dessen Wirksamkeit auch bei Dämpfen von mittlerem und selbst hohem Drucke zu versuchen. Ich fand mich zu dieser Substituirung um so mehr aufgemuntert, als letztgenannter Apparat, falls er entspräche, noch ungleich einfacher und wohlfeiler herstellbar wäre, als die Sirene, selbst in ihrer einfachsten Gestalt.

Digitized by Google

Nebenher sey es gesagt, daſs ein solches Flugrädchen, einzeln bestellt, ohne Absperrungshahn, kaum viel höher als auf 2 fl. C. M. zu stehen kommen dürfte, in gröſserer Anzahl dagegen noch um ein Bedeutendes billiger.

Es wurde nunmehr ein papinianischer Topf, an dem bereits ein Sicherheitsventil angebracht war, noch mit einem Luftmanometer versehen und in den Deckel ein Flugrädchen mit einem Absperrungshahne versehen eingesetzt. Ein Zählapparat, wiewohl leicht anbringbar, war damit nicht verbunden. Nachdem man denselben etwas über die Hälfte mit Wasser gefüllt hatte, wurde er in einen Windofen eingegesetzt und erhitzt.

Das Resultat der wiederholt damit angestellten Versuche war nun folgendes.

Beim ersten Versuche wurden alle Hähne geöffnet und selbst das Sicherheitsventil gelüftet, so daſs die sich entwickelnden Dämpfe durch die genannten Oeffnungen ziemlich ungehindert in die Luft treten konnten, weshalb auch die zurückgebliebenen Dämpfe bei nicht forcirter Feuerung, nur einen geringen Grad von Spannung zeigten. Als das Wasser im Digestor zu sieden begann, fing auch das Flugrädchen alsogleich sich zu bewegen und in Folge dessen zu tönen an. Der Ton war sehr tief, jedenfalls um eine Octave und darüber tiefer als das *A* einer gewöhnlichen Stimmgabel und blieb bei ersichtlich sich gleichbleibender Feuerung vollkommen constant. Nunmehr wurde das Sicherheitsventil verschlossen und mäſsig beschwert, dem Dampf dadurch also einer der Abzugswege verschlossen. Der Ton stieg nun alsogleich bei sich gleichbleibender Feuerung um mehr als eine ganze Octave. Wurde die Verdampfung durch Anfachen der glühenden Kohlen vermehrt, so lieſs sich der Ton um mehr als zwei Octaven steigern, und wenn man wollte, auf dieser Höhe erhalten. Der Versuch wurde nun in der Weise abgeändert, daſs der Zuführungshahn zum Flugrädchen geschlossen und jedesmal erst dann geöffnet wurde, wenn die Spannkraft der Dämpfe bereits eine gewisse durch das Sicherheitsventil und das Manometer

Digitized by Google

angezeigte Gröſse erreicht hatte. In Bezug auf letzteres muſs erwähnt werden (es war nämlich wie gesagt ein Luft-Manometer), daſs es bei den höhern Spannungsgraden sehr ungenaue Anzeigen gab, weil der Einfluſs der Wärme auf das abgesperrte Luftquantum nicht hintangehalten werden konnte. In dieser Weise wurden nun die Versuche zuerst stufenmäſsig von $\frac{1}{4}$ bis auf 1 Atmosphäre und sodann sprungweise bei $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $5\frac{1}{2}$ und $6\frac{1}{2}$ Atmosphäre relativen Ueberdrucke oder bei einer absoluten Dampf-Spannung von $1\frac{1}{4}$ bis beziehungsweise zu $7\frac{1}{2}$ Atmosphären durchgeführt. Es ist bekannt, daſs bei uns in Oesterreich die Locomotive der Personentrains bisher nur mit höchstens $6\frac{2}{5}$ und jene der Lasttrains mit beiläufig 5 Atmosphären relativen Ueberdruck arbeiten. Nur für die nahe bevorstehenden Fahrten über den Semmering mit Locomotiven gröſserer Leistungsfähigkeit ist es, wie man vernimmt, beantragt, sie mit 100 Pfd. auf den Quadratzoll, d. i. mit beiläufig $7\frac{4}{5}$ Atmosphären relativen Ueberdruck wirken zu lassen.

Das Resultat aller dieser Versuche war eine stufenweise Steigerung des Tons von dem tiefsten eben noch gut hörbaren bis sicher zur siebenten Octave, wo nicht darüber. Da der in dem kleinen Raume eines Digestors enthaltene hochgespannte Dampf schon im nächsten Momente nach Oeffnung des Hahnes seine anfängliche Spannung verlor: so muſste natürlich auch der erzeugte Ton schnell von seiner Höhe herabsinken, welches begreiflich nicht der Fall gewesen wäre, wenn das akustische Flugrädchen statt von einem Digestor von einem Dampfkessel gespeist worden wäre. Dieſs war auch der Grund, weshalb ich weder mittelst eines Monochords noch mit Hülfe einer Sirene und deren Zählapparat zu einer genauen Bestimmung der Tonhöhe gelangen konnte, und mich gezwungen sah, mich mit einer beiläufigen Abschätzung zu begnügen. Dieser Umstand kann indeſs den Werth dieser Versuche nicht wesentlich beeinträchtigen, da es sich ja hier zunächst nur um die Ermittelung des Genauigkeits- und Empfindlichkeits-Grades, um die Ausreichbarkeit des erzeugten Tons für

alle

Digitized by Google

alle praktischen Bedürfnisse und endlich darum handelte, ob diese Vorrichtung solche Modificationen zulasse, wie dieſs eben die verschiedenen Verhältnisse zuweilen erheischen.

Ein anderer Uebelstand, der eben auch nur wieder bei Versuchen mit dem Digestor, nicht aber beim Dampfkessel vorkommt, bestand darin, daſs beim heftigen Aufwallen des Wassers im Topfe, wegen der Nähe des Niveaus am Deckel, häufig Wasser in die Zuleitungsröhre des Flugrädchens geschleudert wurde, welches sodann von dem ausströmenden Dampfe mit fortgerissen und ausgeworfen wurde. Diesem Uebelstande wurde jedoch gründlich dadurch abgeholfen, daſs man unmittelbar unter der Oeffnung derselben eine nach oben convexe Scheibe oder Schale mittelst einiger Drähte befestigte, deren Durchmesser natürlich namhaft gröſser seyn muſs, als jener des engen Zuleitungsrohres.

Endlich muſs noch erwähnt werden, daſs am Boden des Cagniard'schen Flugrädchens ein hornförmiges Röhrchen angebracht wurde, um die wenigen Tropfen Wasser, welche sich nach längerem Gebrauche durch Condensation der Dämpfe ansammeln, abzuleiten.

Was bei diesen Versuchen im hohen Grade auffiel, war die erstaunliche Empfindlichkeit und Schnelligkeit der Indicationen. Man muſs es wirklich gesehen und erfahren haben, um es auch nur glaublich zu finden, daſs ein einziger kräftiger Schlag mit dem Facher oder Focher, wodurch die Kohlen zu einem mehreren Erglühen gebracht werden, die Tonlage schon um einen halben, durch zwei oder drei aber um einen ganzen Ton erhöht wird. Merkwürdig ist dabei die auſserordentliche ja wahrhaft momentane Schnelligkeit, mit der diese Tonerhöhung vor sich geht. Es erfolgt diese nämlich in demselben Augenblicke, in welchen man die Kohlen durch den Focherschlag neu erglühen sieht. Diese merkwürdige Thatsache, deren Einfluſs bei der Dampferzeugung man bisher kaum ahnte, drängt jeden zu der Annahme, daſs der bei weitem gröſste Theil der mitgetheilten Wärme, wenigstens bei höherer Temperatur, nicht,

Digitized by Google

wie man bisher annahm, durch gewöhnliche Leitung, sondern nach den Gesetzen der Diathermotik durch eigentliche Strahlung in unmeſsbar kurzer Zeit, durch das Blech des Kessels hindurch dem Wasser zugeführt und augenblicklich zur Dampfbildung verwendet wird. Sollte diese auffallende Wahrnehmung nicht einen Schlüssel zur Erklärung jener mysteriösen Kesselexplosionen bieten, bei denen nach eidlichen Aussagen noch kurze Zeit, ja unmittelbar vor der schrecklichen Catastrophe, Wasserstandszeiger, Sicherheitsventil und Manometers eine solche Gefahr auch nicht im Entferntesten ahnen lieſsen.

Das Flugrädchen ist eine so einfache Vorrichtung, wie kaum irgend eine andere, welche sich überdieſs allen Bedürfnissen und Verhältnissen ungemein leicht anpassen läſst. Von ihrer absoluten Gröſse überhaupt und von der Breite seiner Flügel insbesondere hängt die Intensität seines Tons ab, die sich von dem durchdringensten schrillendsten Pfiff, den man kaum mit einer Locomotivpfeife zu übertreffen vermag, bis zu einem ganz leisen Schwirren ermäſsigen läſst. Die Höhe der Tonlage hängt ferner nicht bloſs von der Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes, sondern noch überdieſs von der Länge der Flügelarme, von der Anzahl derselben und von dem Verhältnisse des in die Zuleitungsröhre einströmenden Dampfquantums zu jenem des ausströmenden oder vielmehr von jenem des Querschnittes der Zuführungsröhre zu jenem des Vorhofes ab, und kann durch Verminderung des Dampfzufluſses stets so regulirt werden, wie man es den Verhältnissen anpassend findet. Kennt man die Dampfspannung, so läſst sich nöthigenfalls die Tonhöhe, und wenn hinwieder letztere bekannt ist, daraus die Spannung berechnen.

Bezeichnet nämlich:

r, den effectiven oder wirksamen Radius des Flügels,
m, die Anzahl der Flügel,
b, den Barometerstand,
h, die Spannung des Wasserdampfes,
D, die Dichte des Wasserdampfes, jene des Wassers $= 1$ gesetzt,

Digitized by Google

N, die Anzahl der Pulsationen des erzeugten Tons in der Sekunde,

a, den Querschnitt der Zuführungsröhre des Dampfes, und

A, den Querschnitt des breiten Theiles der Ausmündung derselben, so ist:

$$\text{I.} \quad N = \frac{4{,}62121 \,.\, m}{r} \sqrt{\frac{ah - bA}{AD}}; \text{ und}$$

$$\text{II.} \quad h = \frac{A}{a} \left(b + 0{,}0468258 \, D r^2 N^2 \right);$$

Formeln, deren specielle Ableitung hier überflüssig erscheint.

Was dem Flugrädchen, wenigstens in meinen Augen, als Sicherheitsapparat einen so entschieden hohen Werth giebt, liegt hauptsächlich in dem Umstande, daſs seine Anzeigen nicht, wie bei allen übrigen, durch Gesichtswahrnehmungen, sondern durch das Gehör bedingt sind. Gesehen aber wird immer nur das, worauf unsere Blicke eben gerichtet sind, und alle Sicherheitsvorrichtungen, welche dieſs zur Bedingung machen, sind daher, für die Bediensteten sowohl wie für das mitfahrende Publicum, nur in so ferne da, als sie von ersteren unablässig beobachtet werden. Anders ist dieſs beim Flugrädchen und der Sirene. Dem Gefahr verkündenden Ton, oder dessen unregelmäſsigen, plötzlichen und gleichsam stoſsweisen Aenderungen kann niemand vom Aufsichtspersonale sein Ohr verschlieſsen, womit immer auch die Locomotivführer und die übrigen auf dem Tender befindlichen Personen eben beschäftigt seyn mögen!

Uebrigens muſs es natürlich den Locomotiv-Ingenieurs und zum Theil auch der Erfahrung anheim gestellt bleiben, die speciellen Modalitäten festzusetzen, unter denen der mehrgenannte Apparat unter die übrigen Sicherheitsvorrichtungen einzutreten haben wird. Von meinem Standpunkte aus halte ich eine dreifache Benutzung für ausführbar, und zwar:

1. In so kleine Dimensionen ausgeführt, daſs gegen dessen beständiges und ununterbrochenes Spielen kein ge-

Digitized by Google

gründetes Bedenken erhoben werden kann. Dieſs wird wahrscheinlich der Fall seyn, wenn bei einer drei- oder viermal kleineren Flügelbreite der Durchmesser der Zufluſsröhre für den Dampf nur etwa eine halbe Linie und darunter beträgt. Unter dieser Voraussetzung kann der ungemein geringe Dampfverlust im Hinblick auf die Wichtigkeit der Sache gar nicht in Betracht kommen — und gleichwohl dürfte selbst ein so kleiner Apparat mehr als zureichen, einen dem Zirpen einer Grille ähnlichen Ton zu erzeugen, der, ohne die Wahrnehmung der gewöhnlichen Signale im Geringsten zu beeinträchtigen, stark genug seyn wird, von allen auf dem Tender befindlichen Personen deutlich vernommen zu werden. Ich gestehe, daſs ich diese Art der Anwendung des Flugrädchens für die am meisten Sicherheit gewährende und verläſslichste halte.

2. In gröſseren Dimensionen ausgeführt und mit einem Sicherheitsventil dergestalt verbunden, daſs dasselbe von selbst aber erst dann zu spielen beginnt, wann der Dampf eine gefahrdrohende Spannung zu erreichen beginnt; — und

3. gleichfalls in gröſseren Dimensionen, vielleicht unter Einem zugleich als Dampfpfeipfe benutzbar, mit einem Sperrhahn versehen, zum beliebigen zeitweisen Gebrauch des Locomotivführers.

In Angelegenheiten, die, wie die gegenwärtige, das menschliche Wohl so nahe berühren, kann man sich schon den Vorwurf, bereits Gesagtes nochmals wiederholt zu haben, gefallen lassen.

Die im In- und Auslande zeitweise sich noch immerfort wiederholenden Fälle furchtbarer Explosionen von Dampfkesseln sprechen nämlich mit trauriger Beredtsamkeit der Ansicht das Wort, daſs diese Angelegenheit wohl lange noch nicht zu einem definitiven Abschluſs gebracht worden sey! — Es ist vielmehr ziemlich allgemein eine stehende Ansicht geworden, daſs unter gewissen bisher noch nicht hinreichend aufgeklärten Umständen alle bisherigen Sicherheitsapparate entweder geradezu ihre Dienste versagen oder doch falsche und sich widersprechende Indicationen geben müſsten,

nachdem bei mehreren dieser furchtbaren Catastrophen die erhobenen Thatbestände es beinahe aufser Zweifel setzten, dafs die Locomotivführer noch unmittelbar vor denselben ihrer Schuldigkeit nachkamen. So wurde u. v. a. bei der schrecklichen Kesselexplosion der Locomotive Jason, die sich am 27. Juli 1848 auf der Kaiser-Ferdinands-Nordbahn zwischen Hullein und Napagedl ereignete, der Locomotivführer etwa eine halbe Minute vor der Catastrophe von einem Bahnwächter eifrig mit der Maschine beschäftigt erblickt; ein zweiter Bahnwächter sagte aus, dafs er kurz vorher die Pumpen spielen gesehen habe, und der sterbende Tenderwächter versicherte kurz vor seinem Tode, dafs noch Wasser genug im Kessel gewesen sey! u. s. w., lauter Anzeichen einer pflichtgemäfsen Thätigkeit des Personals noch unmittelbar vor dem hereinbrechenden Unheil!

Sollte man nun bei so bewandten Umständen die Vermehrung der bisherigen Sicherheitsapparate durch noch einen neuen für überflüssig halten, welcher, so wie ich ihn mir denke, an Gröfse kaum einer Wallnufs gleich kommt, also ungemein wenig Raum beansprucht, höchstens einige Gulden kostet, der leicht herzustellen, leicht zu repariren und der Abnutzung nur wenig unterworfen ist? — ein Apparat der ungemein empfindlich, schnell und präcise indicirt, und möglicher- ja wahrscheinlicher Weise sogar noch verläfslicher d. h. zufälligen Störungen weniger unterworfen seyn dürfte, als die bisherigen? — sollte man, sage ich, einem Apparate eine Stelle unter den übrigen Sicherheitsvorrichtungen versagen, der noch überdiefs ohne die mindeste Gefahr gehandhabt werden kann, den übrigen Dienst nicht im geringsten stört oder beeinträchtiget, selbst bei langen Fahrten nur wenig Dampf consumirt, welcher weder eine besondere Befähigung des Dienstpersonals noch irgend eine, Zeit und Aufmerksamkeit in Anspruch nehmende, besondere Bedienung erheischt; und der endlich zur Beruhigung und zum Heile aller, dem Locomotivführer, was man nicht genug beherzigen kann, auch ungefragt und unaufgefordert, gleichsam wie in einem continuirlichen Redestrom,

Digitized by Google

treuen Bericht erstattet über das, was während der ganzen langen Fahrt im Innern des Dampfkessels vorgeht??

Daſs das praktische Leben und die Industrie ein solches Anerbieten der Wissenschaft ohne weitere Prüfung und Würdigung vom praktischen Standpunkte aus, denn ja nur dieſs spreche ich an, auch jetzt noch zurückweisen sollten, vermag ich, mancher der Art gemachten Erfahrungen ungeachtet, dennoch kaum zu glauben! Doch wie dem auch sey, ich für meinen Theil habe wenigstens geglaubt, diese mir am Herzen liegende Angelegenheit soweit durchführen zu sollen, als Gelegenheit und Mittel mir dieſs nur immer ermöglichten.

Und nun lade ich die verehrten Hrn. Anwesenden ein, sich von der Wahrheit des so eben Mitgetheilten durch eigene Wahrnehmung zu überzeugen.

Unmittelbar darauf wurde ein mit den nöthigen Sicherheitsvorrichtungen und einem akustischen Flugrädchen versehener Dampfapparat herbeigebracht und sofort in Thätigkeit gesetzt. Der Erfolg auch dieser Versuche entsprach in jeder Beziehung den gehegten Erwartungen.

Nachschrift.

Da die bisherigen Versuche gezeigt haben, daſs der Umfang der vom menschlichen Gehöre noch wahrnehmbaren Töne (von beiläufig $14\frac{1}{2}$ Octaven) einem Spannungsintervalle von beiläufig 17 bis 18 Atmosphären entspricht, so wollte ich, wiewohl ich nicht im Geringsten daran zweifelte, dennoch es zu noch mehrerer Sicherheit unmittelbar versuchen, ob sich der Anfang derselben durch Verkleinerung der Zufluſsöffnung des Dampfes oder der comprimirten Luft beliebig wohin verlegen lieſse. Es wurden daher nachträglich die oben erwähnten Versuche auch noch in der Weise durchgeführt, daſs der tiefſte Ton erst bei 2^{t}, 3^{t}, 4^{t}, 5^{t}, 6^{t} und 7^{t} Atmosphären Dampf-Spannung stattfand. Um hierin noch weiter zu gehen, nahm ich meine Zuflucht zur comprimirten Luft, und es wurden diese Versuche, unter gefälliger Mitwirkung der HH. Dr. Natterer

Digitized by Google

und Dr. Aettenbacher jun. auch noch mit comprimirter Luft von beiläufig 20, 40 und 85 Atmosphären Spannung angestellt. Bei Wiederholung des letzteren Versuches wurde zwar, wahrscheinlich weil die Oeffnung hierfür noch immer zu groſs war oder aus irgend einem anderen zufälligen Grunde, die Sirene zerstört und durch die ungeheure Gewalt der ausströmenden Luft gänzlich verbogen. Allein dennoch schöpfe ich daraus die volle Ueberzeugung, daſs das Caguiard'sche Flugrädchen bei gehöriger Construction ganz geeignet seyn dürfte, den Spannungsgrad von Dämpfen und comprimirter Luft, selbst bei beliebig noch so hohem Drucke noch anzuzeigen und zu bestimmen. Den oben aufgezählten Vorzügen dieses einfachen Apparates vor anderen muſs noch hinzugefügt werden, daſs man mit der gröſsten Leichtigkeit Hunderte solcher Flugrädchen auf das Genaueste zusammenstimmen kann, um eine völlige Gleichförmigkeit in ihren Indicationen zu erzielen. Auch darf schlieſslich der Umstand nicht verschwiegen werden, daſs wegen der ungemein leichten Beweglichkeit und geringen Masse des Rädchens das Trägheitsmoment desselben verschwindend klein, seine Empfindlichkeit aber aus gleichem Grunde ungemein groſs seyn muſs. Möge dieser Vorschlag auch anderwärts eine freundliche Aufnahme und Berücksichtigung finden.

VII. *Ueber die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum; wie sie sich dem unbewaffneten Auge zeigen; von* O. J. Broch.

(*Nyt Magazin f. Naturvidenskaberne* Bd. IV.)

Man bedarf nur eines mittelmäſsigen Prismas um im Sonnenspectrum und selbst im Spectrum des Tageslichtes einzelne Fraunhofer'sche Linien mit unbewaffnetem Auge wahrzunehmen. Dagegen erfordert es ein etwas besseres Prisma,

wenn man sie auf einen Papierschirm oder eine mattgeschliffene Glasplatte projiciren will. Das beste Glasprisma, welches das physikalische Kabinet in Christiania besitzt, ist von Soleil in Paris. Indeſs kann es sich doch mit den von Fraunhofer selbst geschliffenen Prismen nicht messen, wie denn zur Zeit wohl kein Optikus im Stande ist, sich so reine Glasmassen zu verschaffen wie Fraunhofer anwandte. Soweit mir bekannt, bedient man sich noch immer der von diesem ausgezeichneten Künstler und Naturforscher hinterlassenen Glasmassen, wenn von seinen Nachfolgern in München ein besonders feines optisches Instrument verfertigt werden soll.

Um das Sonnenspectrum auf einem Schirm hervorzubringen, läſst man Sonnenlicht durch einen engen Schlitz auf die damit parallele Kante eines Prismas fallen, und concentrirt die daselbst gebrochenen Strahlen durch eine achromatische Sammellinse auf den Schirm. Bezeichnet man die Brennweite der Linse mit f, den Weg, den das Sonnenlicht von dem Schlitze durch das Prisma nach der Linse zu durchlaufen hat, mit a, und den Abstand der Linse von dem Schirm mit b, so können a und b so groſs genommen werden, daſs

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Dann sieht man mehre Fraunhofer'sche Linien auf dem Schirme, besonders wenn dieser aus mattgeschliffenem Glase besteht. Mit einem Fraunhofer'schen Prisma habe ich auf diese Weise in Stockholm bei Baron Wrede die festen Linien des Spectrums in groſser Anzahl gesehen, so scharf und deutlich, wie man es nur wünschen kann. In der Abbildung des Sonnenspectrums Taf. IV. Fig. 4 sind die stärkeren Linien, nach dessen Projection auf dem Schirm, und die schwächeren Linien nach dem Augenmaaſs gezeichnet [1]).

1) Man wird diese Figur im nächsten Ergänzungsheft finden, kann sich indeſs schon aus dem, was der Verſasser weiterhin bemerkt, orientiren, wenn man Fraunhofer's Abbildung des Sonnenspectrums zur Hand hat. *P.*

Um die festen Linien im Sonnenspectrum unmittelbar zu sehen, stellt man das Auge dicht hinter das Prisma, und macht den Abstand des Prismas von dem feinen Schlitz, durch welchem das Licht einfällt, gleich der Weite des deutlichen Sehens oder doch nur wenig gröſser. Wenn man nicht unmittelbares oder regelmäſsig reflectirtes Sonnenlicht, sondern nur gewöhnliches Tageslicht anwenden kann, sieht man nichts vor III und auch nicht leicht etwas vor XIII. Bei Sonnenlicht dagegen sieht man weit mehr, als die hier gezeichneten Linien. Um die Linien vor XIII zu sehen, braucht man am besten ein azurblaues Glas, welches das Licht von VI mit XII bedeutend schwächt und folglich den übrigen Theil des Spectrums leichter wahrnehmen läſst. Um die Linien in dem rothen Theil des Sonnenspectrums zu sehen, bedient man sich am besten eines rothen Glases, welches den rothen und orangenen Theil des Spectrums bis VI wahrnehmen läſst. Die Linie IV zeigt sich dann etwa mitten in diesem Theil des Spectrums.

Ein scharfer Uebergang zwischen den Farben im Sonnenspectrum ist nicht bemerklich. Etwas schärfer als sonst ist indeſs dieser Uebergang vom Orange zum Gelb bei VI und vom Gelb zum Grün bei VII, so wie vom Grün zum Blau zwischen IX und X. Das Gelb nimmt nur einen kleinen Theil des Spectrums ein, von VI bis etwas vor VII, ist aber sehr intensiv.

Als ich das von mir gezeichnete Spectrum mit den in den gewöhnlichen Lehrbüchern (Pouillet, Baumgartner, Lamé, Herschel, Radicke) enthaltenen und den darin angegebenen Farbengränzen verglich, ward ich höchst unsicher, welche Linien die sieben von Fraunhofer mit *B, C, D, E, F, G, H* bezeichneten seyen. Zwischen den verschiedenen Abbildungen war gar keine besondere Gleichheit. Ich muſs daher annehmen, daſs die Zeichnungen im Allgemeinen nicht nach der Natur ausgeführt sind und keine sonderliche Sorgfalt auf sie verwandt worden ist. Ich nahm daher die in den Denkschriften der Münchner Akademie von Fraunhofer selbst mit so ausgezeichnetem Fleiſs verfertigte

Digitized by Google

Zeichnung des Spectrums, so wie solches sich dem mit einem Fernrohre bewaffneten Auge zeigt. Da jedoch mehre Linien, welche dem bloſsen Auge als starke einfache Striche erscheinen, sich bei der Beobachtung durch ein Fernrohr oft in eine Anzahl dicht stehender schwacher Striche auflösen, und zugleich eine unzählige Menge bis dahin unsichtbarer Striche hervortritt, so ist der Vergleich mit einer solchen Zeichnung nicht leicht. Wer sich in einem analogen Fall davon überzeugen will, braucht nur das Mondsbild, wie es sich dem bloſsen Auge zeigt, mit einer Mondskarte zu vergleichen.

Einzelne Fraunhofer'sche Linien, wie *H*, waren allerdings kenntlich, aber über die wichtigsten in den helleren Theil des Spectrums fallenden Linien blieb ich dennoch in einiger Ungewiſsheit. Ich bediente mich daher der folgenden Beobachtungen.

Eine parallel der Axe geschnittene Bergkrystallplatte, deren Dicke durch einen genauen Lamellenmesser zu $0^{m},200$ gefunden war, wurde zwischen zwei gekreuzte Nicol'sche Prismen gestellt; sie zeigte dann eine grüne Farbe. Analysirt mit einem Glasprisma zeigte sie einen deutlich schwarzen Strich bei VI, etwas hinter V, und einen anderen weniger deutlichen bei XII. Bei Parallelismus der Nicol'schen Prismen zeigte sie einen schwarzen Strich bei VIII.

Bezeichnet d die Dicke der Platte, $n'-n$ den Unterschied der Brechungscoëfficienten und k eine ganze Zahl, so müssen die schwarzen Striche bei gekreuzten Nicol'schen Prismen sich in demjenigen Theile des Sonnenspectrums zeigen, dessen Wellenlängen $=\frac{d(n'-n)}{k}$, und bei parallelen Nicol'schen Prismen in dem Theile, dessen Wellenlängen $=\frac{d(n'-n)}{k+\frac{1}{2}}$. Nun ist für die gelben Strahlen, in dessen Nähe VI liegt, $n'-n=0{,}0091$ und für die mittleren grünen Strahlen, wo VIII liegt, $n'-n=0{,}0092$. Man hat also, wenn man die Wellenlänge in Luft für die Theile des Spectrums, worin die zwei schwarzen Striche beobachtet sind, mit l und l' bezeichnet, folgende Gleichungen:

Digitized by Google

$$\frac{0^{m},2\,.\,0,0091}{k} = l; \quad \frac{0^{m},2\,.\,0,0092}{k+\frac{1}{2}} = l'.$$

Setzt man nun

$k=1$	so erhält man:	$l = 0^{m},00182$	$l' = 0^{m},001227$
$k=2$		$l = 0\ ,00091$	$l' = 0\ ,000736$
$k=3$		$l = 0\ ,000607$	$l' = 0\ ,000526$
$k=4$		$l = 0\ ,000455$	$l' = 0\ ,000409.$

Nun ist nach Fraunhofer's Beobachtungen:

für B;	$l = 0^{m},0006878$	für F;	$l = 0^{m},0004843$
» C;	$l = 0\ ,0006564$	» G;	$l = 0\ ,0004291$
» D;	$l = 0\ ,0005888$	» H;	$l = 0\ ,0003928$
» E;	$l = 0\ ,0005260.$		

Man muſs also für die in der Nähe von VI und bei VIII beobachteten Striche $k=3$, für den bei XII beobachteten Strich $k=4$ nehmen, die Linie VI mag die Fraunhofersche D seyn, VIII die Linie E, und XII mag einigermaſsen mitten zwischen F und G fallen.

Daſs VI die Fraunhofer'sche Linie D ist, folgt auch daraus, daſs dasselbe genau zusammenfällt mit dem hell orangefarbenen Strich im Spectrum des Lichts der äuſseren Flamme einer Talgkerze, welche nach Fraunhofer denselben Brechungscoëfficienten wie D hat. Ich überzeugte mich davon, indem ich durch die Oeffnung der Spalte gleichzeitig dieses Licht und das Tageslicht einfallen lieſs.

Beim Vergleich mit Fraunhofer's Zeichnung findet man leicht, daſs

I	ist	A	VIII	ist	E
II	»	a	IV	»	b
III	»	B	X	»	F
IV	»	C	XIII	»	G
VI	»	D	XIV	»	$H.$

Zwischen C und D findet sich bei V ein starker schwarzer Strich, der intensiver ist als die Linie C, welche auch in Fraunhofer's Zeichnung angegeben ist, aber weit schwächer. In der Nähe von D bei VII sieht man auch eine Menge dichter, feiner Linien, welche, wenn die Spalte breit ist, einen breiten schwarzen Strich zu bilden scheinen,

Digitized by Google

der in dem von einem minder guten Glasprisma erzeugten Spectrum einer der am leichtest wahrnehmbaren ist. Bei XI liegt ein Bündel feiner Linien. Zwischen *G* und *H* liegen drei sehr breite Bündel feiner Linien. Bei *H* befinden sich gleichfalls zwei starke Bündel ähnlicher Linien, die diesen Strich sehr deutlich machen.

In dem Spectrum des Mondslicht sieht man dieselben Linien wie in dem des Sonnenlichts. Da der Unterschied in der Lichtintensität zwichen dem gelben Theile des Spectrums und den beiden Enden desselben beim Mondslichte bedeutend geringer ist als beim Sonnenlicht, so sieht man auch die äuſsersten Linien, besonders im violetten Theil, sehr deutlich.

Da die Dicke der vom Sonnenlicht durchlaufenen Luftschicht einen nicht unbedeutenden Einfluſs auf die Deutlichkeit und Stärke der festen Striche im Sonnenspectrum hat, so mag hinzugefügt seyn, daſs meine Beobachtungen zu Anfange des Winters 1845—46 gemacht wurden, entweder kurz nach Aufgang der Sonne oder nahe beim Untergang derselben.

VIII. *Methode zur genauen Bestimmung der Lufttemperatur; von Hrn. E. Liais.*

(*Compt. rend. T. XXXIII. p.* 207.)

Wie bekannt steht ein der freien Luft ausgesetztes Thermometer unter beständigem Einfluſs der von den umgebenden Körpern ausgestrahlten Wärme und die von demselben angezeigte Temperatur kann deshalb nur annäherungsweise als die richtige Temperatur der Luft betrachtet werden. Es ist indeſs für die Meteorologie sehr wichtig diese Temratur zu kennen. Noch gröſser ist die Wichtigkeit für die Astronomie, wegen des Einfluſses der Lufttemperatur auf

Digitized by Google

die Strahlenbrechung. Es ist daher interessant eine Methode aufzusuchen, mittelst deren man diese Temperatur genau erhalten könnte.

Zu dem Ende denke man sich drei gleiche Thermometer versehen mit sorgfältig verglichenen Scalen. Wenn man diese drei Thermometer an einer gegen Norden liegenden und mit einem gleichmäſsigen Ueberzug versehenen Mauer, etwa 1 Meter von einander entfernt, ähnlich aufhängt, wenn bis zu mehren Metern Abstand keine andere Mauern oder keine Bäume vorhanden sind, welche auf die Strahlung einwirken könnten, und endlich wenn der Boden bis zu mehren Metern von der Mauer mit einer gleichförmigen Vegetation bedeckt oder auch ganz kahl und von gleicher Natur ist, wird man ohne merklichen Fehler annehmen können, daſs diese drei Thermometer eine gleiche Menge strahlender Wärme aufnehmen. (Zur gröſseren Sicherheit könnte man neben jedem Thermometer zwei Schirme anbringen, einen auf jeder Seite, um den aus ihrer Nachbarschaft entspringenden Mangel an Regelmäſsigkeit zu zerstören. Die Schirme könnten auch angewandt werden, um die Ungleichheit der Wirkung benachbarter Körper zu vernichten, im Fall man die vorher angegebenen Bedingungen nicht verwirklichen könnte.)

Dieſs gesetzt, denke man sich die Kugel jeder dieser drei Thermometer überzogen mit einer Substanz von anderem Emissionsvermögen. Diese sorgfältig bestimmten Emissionsvermögen seyen f, f', f''. Wenn alle Körper, die im Stande wären strahlende Wärme zu den Thermometern zu senden, gleiche Temperatur wie die umgebende Luft hätten, würde jedes der drei Thermometer diese Temperatur richtig angeben. Allein dem ist nicht also und sie zeigen nun verschiedene Temperaturen.

Nennen wir also A den unbekannten Unterschied zwischen der von allen benachbarten Körpern auf jedes der Thermometer gesandten Menge strahlender Wärme, und derjenigen, welche sie senden würden, wenn sie gleiche Temperatur wie die umgebende Luft besäſsen. Wegen der

Gleichheit der Emissions- und Absorptionsvermögen absorbirt von dieser strahlenden Wärmemenge A das erste Thermometer eine Menge Af, das zweite eine Af' und das dritte eine Af''. Wegen dieses Ueberschuſses von absorbirter Wärme Af nimmt das erste Thermometer einen, uns unbekannten Ueberschuſs t über die Temperatur der umgebenden Luft an. Nennen wir a und b die Temperaturunterschiede des ersten und zweiten Thermometers mit dem ersten, Unterschiede, welche die Beobachtung kennen lehrt, so wird der Ueberschuſs des zweiten Thermometers über die Temperatur der umgebenden Luft seyn $= t + a$, der des dritten $= t + b$.

Bemerken wir nun, daſs, zum Gleichgewicht, die vermöge des Temperaturüberschusses vom ersten Thermometer verlorne Wärmemenge gleich Af seyn muſs, die vom zweiten Thermometer vermöge des Temperaturüberschusses $t + a$ verlorne gleich Af', und endlich die vom dritten vermöge des Ueberschusses $t + b$ gleich Af''. Die von jedem Thermometer verlorne Wärmemenge wird aber aus zwei Theilen bestehen, einen durch Strahlung verlornen, und einen durch Berührung mit der umgebenden Luft fortgenommenen. Für einen gleichen Temperaturunterschied ist die durch Strahlung verlorne Wärmemenge proportional dem Emissionsvermögen der strahlenden Oberfläche, und für ein selbes Emissionsvermögen kann man, ohne merklichen Fehler, die durch Strahlung verlorne Wärme als proportional den Temperaturüberschüssen betrachten, sobald diese Ueberschüsse, wie im gegenwärtigen Fall, nur wenige Grade betragen.

Nennen wir also mft die vom ersten Thermometer vermöge seines Temperaturüberschusses t verlorne Menge strahlender Wärme, so wird die vom zweiten vermöge seines Ueberschusses $t + a$ verlorne seyn $= mf'(t + a)$, und die vom dritten vermöge seines Ueberschusses $t + b$ verlorne $= mf''(t + b)$.

Was die durch Berührung der Luft verlorne Wärmemenge betrifft, so ist sie unabhängig von dem Emissions-

Digitized by Google

vermögen der Oberfläche, und man kann sie ohne merklichen Irrthum als proportional betrachten dem Ueberschuſs der Temperaturen der Thermometer über die der umgebenden Luft, sobald diese Ueberschüsse, wie im gegenwärtigen Fall, nur wenige Grade betragen; dieſs ergiebt sich, wie bei der strahlenden Wärme, wenn man die Ausdrücke für die Erkaltung in Reihen entwickelt.

Nennen wir also nt diese Wärmemenge für das erste Thermometer, so wird sie $n(t+a)$ für das zweite, und $n(t+b)$ für das dritte seyn. Wir haben also die drei Gleichungen:

$$Af = mft + nt$$
$$Af' = mf'(t+a) + n(t+a)$$
$$Af'' = mf''(t+b) + n(t+b).$$

Dividirt man die erste durch mf, die zweite durch mf' und die dritte durch mf'', setzt $\frac{n}{m} = k$ und eliminirt $\frac{A}{m}$, so hat man die beiden Gleichungen:

$$\frac{k}{f}t = a + \frac{k}{f'}(t+a)$$
$$\frac{k}{f}t = b + \frac{k}{f''}(t+b).$$

Diese beiden Gleichungen enthalten nur die beiden Unbekannten k und t, und lassen sich unter folgende Form bringen:

$$k(f't - ft - af) = aff'$$
$$k(f''t - ft - bf) = bff''.$$

Dividirt man die eine dieser Gleichungen durch die andere, so fällt k heraus und man erhält eine Gleichung ersten Grades in t, woraus sich ergiebt

$$t = \frac{abf(f''-f')}{bf''(f'-f) - af'(f''-f)}.$$

Zieht man von der durch das erste Thermometer angegebenen Temperatur diesen Werth von t ab, welcher positiv oder negativ seyn kann, je nachdem die benachbarten Körper wärmer oder kälter als die Luft sind, so erhält man die richtige Temperatur der Luft.

Digitized by Google

IX. *Ueber ein neues Scalenoëder des Eisenglanzes; von N. v. Kokscharow.*

In der Polewskischen Grube, des Katharinenburger Bergreviers im Ural, finden sich auſserordentlich schöne, einzeln vorkommende Krystalle des Eisenglanzes, welche häufig sehr groſs und complicirt sind. An einigen dieser Krystalle, welche die Form des Hauptrhomboëders mit abgestumpften Endkanten darbieten, d. h. an Krystallen, die nach der Bezeichnungsweise von Naumann die Combination von $+R. -\frac{1}{2}R$ darstellen, finden sich Flächen eines noch nicht näher bestimmten Scalenoëders vor. Die Flächen dieses neuen Scalenoëders stumpfen die Combinations-Kanten zwischen dem Haupt- und dem ersten stumpferen Rhomboëder ab; liegen folglich in der Endkanten-Zone des Hauptrhomboëders. Da diese Flächen an dem von mir untersuchten Exemplare sehr glänzend waren, so gelang es mir, vermittelst des Reflectionsgoniometers von Mitscherlich, den Neigungswinkel in den längeren und kürzeren Endkanten ziemlich genau zu bestimmen; der erstere Neigungswinkel betrug: 130° 24′ 45″, der letztere 155° 48′ 0″. Hieraus folgt, daſs das krystallographische Zeichen des Scalenoëders nach der Bezeichnungsweise von Weiſs und Naumann,

$$\tfrac{1}{2}(\tfrac{1}{5}a:b:\tfrac{1}{3}b:\tfrac{1}{2}b)=\tfrac{1}{2}(\tfrac{3}{5}P\tfrac{3}{2})=\tfrac{1}{5}R^3$$

seyn muſs.

Wenn man die Angaben von Naumann zu Grunde legt, d. h. den Neigungswinkel in den Endkanten des Hauptrhomboëders = 86° 0′ 0″ annimmt [1]), was mit meinen eigenen Messungen übereinstimmt, so erhält man durch Rechnung für unser Scalenoëder den Neigungswinkel:

in den längeren Endkanten	=	130° 24′ 20″
in den kürzeren Endkanten	=	155° 47′ 24″
in den Seitenkanten	=	77° 58′ 8″.

Und ferner:

$$\tfrac{1}{5}R^3 : -\tfrac{1}{2}R = 167° 53′ 42″.$$

Die berechneten Winkelgröſsen entsprechen, wie man sieht, fast ganz genau den Winkeln, die durch Messung erhalten wurden.

1) C. F. Naumann. Elemente der Mineralogie, zweite Auflage, Leipzig 1850 S. 411.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 3.

I. *Bemerkungen über das absolute Gewicht der atmosphärischen Luft in Berlin, so wie über die Vergleichung der preuſsischen Maaſse und Gewichte mit den französischen und englischen, von W. Lasch.*

Hr. Regnault hat in der neuesten Zeit Untersuchungen über das specifische und absolute Gewicht der Gase bekannt gemacht [1]), die sich nicht nur durch die dabei angewendete Methode, sondern auch durch die Uebereinstimmung der einzelnen Versuche so vortheilhaft auszeichnen, daſs man sie ohne Zweifel bei allen neueren Arbeiten als Basis benutzt wird, weshalb sie denn auch von Hrn. Poggendorff in seinen vielgelesenen Annalen [2]) einem gröſseren Kreise zugänglich gemacht worden sind.

Das Interesse, welches eine solche Arbeit für sich in Anspruch nimmt, hat mich bewogen sie genauer zu studiren; dabei haben sich indeſs kleine Rechnungsfehler gezeigt, die das Endresultat zwar nicht viel verändern, deren Berichtigung mir indeſs wünschenswerth schien, namentlich was die im vorher citirten Werke pag. 158 aufgestellte Endformel anbetrifft.

Zuerst findet sich in der zweiten Abhandlung: über die Bestimmung der Dichtigkeit der Gase, pag. 138 bei der Bestimmung des Gewichtes der trocknen Luft, welche den

1) *Relation des expériences pour déterminer les principales lois physiques et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur par M. V. Regnault. Paris* 1847. *Deuxième et troisième mémoire.*

2) Pogg. Ann. Bd. 74, S. 202.

angewandten Ballon bei 0° und 760^{mm} füllt, im Versuch IX. die Zahl 11^{gr},7774, welche nach den mitgetheilten Wägungen in 12^{gr},7790 umgeändert werden muſs. Dann wird aber das Mittel aus diesen neun Versuchen anstatt 12^{gr},7781 etwas höher, nämlich

$$\frac{115{,}0044}{9} = 12^{gr}{,}778266\ldots$$

Dadurch erleidet indeſs das specifische Gewicht der Gasarten keine bemerkbare Veränderung, denn 12^{gr},778266 als Einheit genommen erhält man für das specifische Gewicht

des Stickstoffs 0,971360 des Sauerstoffs 1,105628
des Wasserstoffs 0,069268 der Kohlensäure 1,529084

mit einer Unsicherheit von etwa 0,0005, weshalb also nur drei Decimalstellen als sicher betrachtet werden können.

In der dritten Abhandlung: über das Gewicht eines Liters Luft, ist der Inhalt des Ballons bei 0° zu 9^{litr},881086 angegeben, und darnach wird bei 0° und 760^{mm}

das Gew. eines Liters atmosphärischer Luft = 1^{gr},293204
das eines Liters

Sickstoff = 1^{gr},256167 Sauerstoff = 1^{gr},429802
Wasserstoff = 0^{gr},089578 Kohlensäure = 1^{gr},977418.

Dieſs Gewicht eines Liters Luft gilt natürlich nur für Paris, und Hr. Regnault hat deshalb pag. 158 auch eine Formel gegeben, nach der das Gewicht für jede Breite und jede Höhe über dem Meeresspiegel berechnet werden kann. Hierin ist indeſs das Gewicht der Luft zu gering angegeben. Während es nämlich für die Höhe von Paris (ungefähr 60 Meter über dem Meere) und unter einer Breite von 45° zu 1^{gr},292697 berechnet ist, ist es schlieſslich für dieselbe Breite im Niveau des Meeres geringer, zu 1^{gr},292673 gefunden, wahrscheinlich dadurch, daſs der zu addirende Logarithmus subtrahirt wurde, denn aus

$$1^{gr}{,}292697\,(1{,}00001885)\,\frac{1}{1+\frac{2h}{R}}\,(1-0{,}002837\ \cos 2\lambda)$$

ist abgeleitet

Digitized by Google

$$1^{gr},292673 \frac{1}{1+\frac{2h}{R}} (1-0{,}002837 \cos 2\lambda).$$

Führt man die Rechnung richtig aus, so wird die Endformel zur Bestimmung des Gewichtes eines Liters trockner atmosphärischer Luft unter der Breite λ und in der Höhe h über dem Meere, wenn die Schwere unter $45^\circ = 1$, und der mittlere Erdradius $= R$ zu 6366198 Meter angenommen wird.

$$1^{gr},292721 \frac{1}{1+\frac{2h}{R}} (1-0{,}002837 \cos 2\lambda).$$

Die verschiedenen für die Correction der Schwere angegebenen Formeln weichen indeſs nicht ganz unbedeutend von einander ab. Ich habe deshalb geglaubt, wenn man einmal diese Correction anbringen will, die möglicher Weise auf die letzte noch einigermaſsen zuverlässige Decimalstelle einen Einfluſs haben kann, wenigstens die anwenden zu müssen, welche die gröſste Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Nach den, im Artikel »Schwere« in Gehler's neuem physikalischen Wörterbuche aufgeführten Angaben liegen die gebräuchlichen Formeln zwischen der von Biot in der Astron. phys. Th. 1 p. 199 zu

$$g' = g\,(1-0{,}00257 \cos 2\varphi) \text{ und}$$

der in seinem *Traité de Physique T.* 1. *p.* 390 zu

$$g' = g\,(1-0{,}002837 \cos 2\varphi)$$

angegebenen, worin g die Schwere unter 45°, g' die Schwere in der Breite φ bedeutet.

Munke hat in demselben Artikel eine Correctionsformel aus den mittleren Resultaten der neuesten Pendelmessungen berechnet, welche

$$g' = g\,(1-0{,}00260434 \cos 2\varphi)$$

giebt.

Die Länge des einfachen Sekundenpendels unter den verschiedenen Breiten giebt jedenfalls den genauesten Ausdruck für die Wirkung der Schwere, und wenn man da-

bei die von Sabine aus seinen zahlreichen und sorgfältigen Versuchen abgeleiteten Werthe zum Grunde legt, wodurch die Länge des einfachen Sekundenpendels unter dem Aequator, auf den leeren Raum und den Meeresspiegel reducirt, zu 39,01520 engl. Zoll, und seine Zunahme für jeden Breitengrad =0,20245 engl. Zoll bestimmt wird, so erhält man aus diesen Zahlen, die Schwere unter dem Aequator = 1, für die Breite φ die Correctionsformel

$$1 + 0{,}005189003 \sin^2 \varphi.$$

Bessel fand bei seinen Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels für Königsberg [1]), daſs die von ihm gemessene Pendellänge, mit der nach der Formel von Sabine berechneten verglichen, um 0,0062 pariser Linien gröſser war, als die Rechnung erforderte. Diese Formel findet sich in einer Anmerkung in pariser Linien zu $439''',2975 + 2''',28174$ (sin Polhöhe)^2 angegeben.

Daraus erhält man den allgemeinen Ausdruck:

$$1 + 0{,}005194065 \sin^2 \varphi.$$

Auch Pouillet [2]) hat eine Formel für die Länge (l) des einfachen Sekundenpendels nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den zahreichen von ihm aufgeführten Angaben zu

$$l = 0^m{,}99102557 + 0^m{,}00507188 \sin^2 \varphi$$

berechnet, welche

$$1 + 0{,}00511780 \sin^2 \varphi$$

giebt, also von den vorhergehenden etwas abweicht.

Endlich hat C. E. Schmidt [3]) aus den vorzüglichsten Pendelbeobachtungen, denen von Sabine, Kater, Freycinet, Biot, Mathieu, Chaix und Anderen die Abplattung der Erde und die Schwere unter dem Aequator so bestimmt, daſs die Summe der Quadrate der Unterschiede

1) Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels von F. W. Bessel, Abhandl. der Acad. d. Wiss. zu Berlin a. d. J. 1826 S. 62.

2) *Elémens de physique expérimentale et de météorologie par M. Pouillet, quatrième édition pag.* 102 — 103.

3) Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie von Dr. J. C. E. Schmidt. 1829. Bd. 1. S. 381.

Digitized by Google

zwischen den beobachteten und berechneten Längen der Pendel ein Minimum geworden ist, woraus die Abplattung $=\frac{1}{288,20}$ und die Länge (l) des Sekundenpendels in engl. Zollen für die Breite φ

$$l = 39'',015233 + 0'',202898 \sin^2 \varphi$$

oder $l = 1 + 0,005200481 \sin^2 \varphi$ wird,

wofür man ohne Fehler

$$l = 1 + 0,0052005 \sin^2 \varphi \text{ setzen kann.}$$

Legt man diese letzte Formel für die Correction der Schwere zum Grunde, und setzt die Schwere unter dem Aequator $G=1$, die Schwere unter der Breite $\varphi = g'$, so hat man den allgemeinen Ausdruck

$$g' = G(1 + 0,0052005 \sin^2 \varphi).$$

In der Regel nimmt man aber die Schwere unter 45° Breite als Einheit an; bezeichnet man diese mit g, so ergiebt sich, wenn auch

$$\sin^2 \varphi = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} \cos 2\varphi \text{ gesetzt wird}$$

$$g' = G(1,00260025 - 0,00260025 \cos 2\varphi),$$

also bei $\varphi = 45$, wo $\cos 2\varphi = 0$

$$g = G(1,00260025) \text{ und } G = \frac{g}{1,00260025}.$$

Setzt man der Kürze wegen $1,00260025 = n$, so hat man die beiden Gleichungen

$$g' = G(n - [n - 1 \cos 2\varphi])$$

$$G = \frac{g}{n},$$

woraus durch Substitution folgt

$$g' = \frac{g}{n}(n - [n - 1 \cos 2\varphi])$$

$$= g\left(1 - \left[\frac{n-1}{n} \cos 2\varphi\right]\right).$$

$\frac{n-1}{n}$ berechnet sich $= 0,0025935$, daher wird

$$g' = g(1 - 0,0025935 \cos 2\varphi),$$

worin g die Schwere unter 45°

g' die Schwere unter der Breite φ bezeichnet.

Digitized by Google

Bei Gelegenheit der für barometrische Höhenmessungen nothwendigen Correctionen hat C. Schmidt [1]) eine Formel für die Correction der Schwere angeführt, die nicht direct aus den Pendellängen abgeleitet, sondern mit Hülfe des Clairaut'schen Theorems berechnet worden ist. Nach diesem ist bekanntlich, unabhängig von der Dichtigkeit der Erde, die Summe der Zunahme der Schwere vom Aequator zum Pole und der Abplattung gleich dem zwei- und einhalbfachen des Verhältnisses der Schwungkraft zur Schwere am Aequator, wenn die Schwere am Aequator $=1$ gesetzt wird.

Die Abplattung der Erde und die Schwere unter dem Aequator hat Schmidt aus den vorher angeführten Untersuchungen über die Pendellänge, erstere zu $\frac{1}{288,20}$, und die Schwere unter dem Aequator $2g=30,10906$ pariser Fuſs abgeleitet, und für die Dimensionen der Erde den Umfang des Aequators 20557561 Toisen und seinen Halbmesser 3271837,5 Toisen gesetzt.

Das Verhältniſs der Schwere zur Schwungkraft (p) ergiebt sich dann

$$p=\frac{c^2}{2gr}=\frac{1}{288,44}$$

und daraus die Formel für die Correction der Schwere

$$g'=g(1-0,0025920\cos 2\varphi),$$

welche fast genau mit der vorhergehenden übereinstimmt.

Ich habe indeſs der unmittelbar aus der corrigirten Pendellänge abgeleiteten Formel den Vorzug eingeräumt, einmal weil sie ebenfalls nur wenig von der abweicht, welche aus den Beobachtungen von Sabine abgeleitet werden kann, und der von Bessel angeführten sehr nahe liegt, aber auch, weil sie dieselbe ist, welche Hr. Prof. Poggendorff [2]) schon früher zur Correction des Barometerstandes angewendet und empfohlen hat.

1) Lehrbuch der mathem. und phys. Geographie. Göttingen 1830. Bd. 2. S. 201.

2) Annalen der Physik u. Chem. Bd. 37, S. 473.

Digitized by Google

Versucht man mit dem von Schmidt gegebenen Ausdrucke für die Pendellänge, welcher ihr zum Grunde liegt, die Pendellängen für Berlin, Königsberg, Paris und London zu berechnen, so zeigt sich eine Uebereinstimmung mit den wirklich gefundenen, die ihren Gebrauch noch mehr rechtfertigt.

Die Länge des einfachen Sekundenpendels für die Oberfläche des Meeres in der Breite φ beträgt nach Schmidt in englischen Zollen

$$l = 39'',015233 + 0'',202898 \sin^2 \varphi.$$

Für Königsberg, wo $\varphi = 54^\circ\ 42'\ 50''$ ist, findet man also

$$l = 39'',015233 + 0'',202898 \sin^2\ (54^\circ\ 42'\ 50'')$$

$$\begin{array}{ll} \log.\sin 54^\circ\ 42'\ 50'' & = 9,9118379 \\ \log.\sin^2 & = \overline{0,8236758} - 1 \\ + \log. 0'',202898 & = 0,3072777 - 1 \\ \log. 0'',202898 \sin^2 \varphi & = \overline{0,1309535} - 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{num.} & = 0'',135193 \text{ engl. Zoll} \\ \text{dazu} & = 39'',015233 \\ \text{giebt } l & = \overline{39'',150426} = 469,805112 \text{ zwölftel Zoll.} \end{array}$$

Schmidt hat bei seinen Rechnungen das Verhältniſs des englischen Fuſses zum pariser wie 1:1,06575 angenommen, es wird also diese Länge in pariser Linien

$$\frac{469''',805112}{1,06575} = 440''',8211.$$

Bessel fand die Länge des einfachen Sekundenpendels für Königsberg [1]) im Niveau des Meeres = 440''',8179 pariser Linien. Die Rechnung ergiebt sie gröſser um 0''',0032 pariser Linien.

Für Berlin wird $\varphi = 52^\circ\ 30'\ 16''$, und man erhält auf dieselbe Weise

$$l = 440''',73699 \text{ pariser Linien.}$$

Bessel hat durch Messen 440''',739 pariser Linien gefunden [2]). Die Rechnung ergiebt weniger 0''',002 pariser Linien.

1) Abhandlungen der Königl. Academie d. Wissenschaften zu Berlin f. d. Jahr 1826. S. 56.

2) Abhandlungen der Königl. Academie d. Wissenschaften zu Berlin f. d. Jahr 1835. S. 190.

Digitized by Google

Für Paris, unter 48° 50′ 14″ nördlicher Breite, beträgt die Länge des einfachen Sekundenpendels nach Biot, Bouvard, Mathieu und Freycinet [1])

$$0^{m},9938666.$$

Die Rechnung mit obiger Formel ergiebt

$$0^{m},9939043$$

also mehr $0^{m},0000377 = 0''',0167$ pariser Linien.

London liegt unter 51° 31′ 8″,40 nördlicher Breite, und die Pendellänge ist dort nach Kater's Messungen 39″,13929 engl. Zoll [2]).

Berechnet wird sie = 39″,13956 engl. Zoll, also gröſser um 0″,00027 engl. Zoll oder 0,00324 zwölftel Zoll.

Wird nun mit Hülfe der vorher bezeichneten Formel für die Correction der Schwere das Gewicht eines Liters trockner atmosphärischer Luft bei 0° und 760^{mm}, welches Hr. Regnault in Paris unter 48° 50′ 14″ Breite und 60 Meter über dem Meere zu $1^{gr},239204$ bestimmte, für irgend eine andere Breite und Höhe über dem Meere gesucht, so ist, wenn

g die Intensität der Schwere unter 45° im Meeresniveau,
g' die Schwere in der Breite φ unter denselben Umständen bedeutet, und $0,0025935 = \delta$ gesetzt wird

$$g' = g(1 - \delta \cos 2\varphi).$$

Ist aber die Schwere γ in einer Erhebung von a Toisen in Rechnung zu ziehen, so muſs dafür ebenfalls eine Correction angebracht werden, und zwar verhält sich, da die Schwere abnimmt wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen, wenn R den Erdradius in der dazu gehörigen Breite bezeichnet

$$\gamma : g' = R^2 : (R + a)^2$$

also

$$g' = \gamma \frac{(R+a)^2}{R^2} = \gamma \left(1 + \frac{2a}{R}\right)$$

wenn man $\frac{a^2}{R^2}$ wegen der Kleinheit vernachlässigt.

1) *Elémens de physique expérimentale etc. p.* Pouillet. *4ème édit.* I. *p.* 102 — 103.

2) *Philosophical Transactions of the Royal Society for* 1819 *part. III. p.* 415.

Digitized by Google

Dieſs in die obige Gleichung gesetzt giebt

$$\gamma\left(1+\frac{2a}{R}\right)=g(1-\delta\cos 2\varphi)$$

$$\gamma=\frac{g(1-\delta\cos 2\varphi)}{1+\frac{2a}{R}},$$

worin γ die Schwere in einer Erhebung von a Toisen unter der Breite φ bedeutet.

Für die Breite von 45° und das Niveau des Meeres folgt hieraus die Intensität der Schwere

$$g=\frac{\gamma\left(1+\frac{2a}{R}\right)}{1-\delta.\cos 2\varphi}$$

und das Gewicht eines Liters trockner Luft von 0° und 760mm, da $\gamma=1^{gr},293204$, $a=60$ Meter $=30,78444$ Toisen und $\varphi=48°\ 50'\ 14''$.

$$g=\frac{1,293204\left(1+\frac{61,56888}{3266322}\right)}{1-0,0025935\ \cos(97°\ 40'\ 28'')}$$

dessen Ausführung $g=1^{gr},2927807$ ergiebt.

In irgend einer Breite φ, bei einer Erhebung von h Toisen über das mittlere Niveau, ist dann das Gewicht eines Liters trockner atmosphärischer Luft von 0° und 760mm Druck

$$\gamma=\frac{1^{gr},2927807\,(1-0,0025935\ \cos 2\varphi)}{1+\frac{2h}{R}}$$

worin $R=3266322$ Toisen angenommen werden kann [1]).

1) Streng genommen muſs hier für R der der Breite φ entsprechende Erdradius eingesetzt werden; gewöhnlich begnügt man sich jedoch mit dem mittleren Radius, den ich nach Schmidt's Berechnungen der Dimensionen der Erde angenommen habe, die nur wenig von den neuesten durch Bessel in diesen Annalen Bd. 42, S. 622 mitgetheilten abweichen. In seinem Lehrbuch der mathematischen und physikalischen Geographie Bd. 1, S. 202 finden sie sich angegeben:

Umfang des Aequators	=	20557561	Toisen
Halbmesser des Aequators	=	3271837,5	»
Halbe Erdaxe	=	3260920,3	»
Mittlerer Halbmesser	=	3266322	»

Digitized by Google

Für Berlin ist $\varphi = 52^\circ\, 30'\, 16''$, $h = 17{,}77$ Toisen, also das Gewicht eines Liters trockner Luft unter normalen Umständen

$$\frac{1^{gr},2927807\,(1 - 0{,}0025935 \cos 105^\circ\, 0'\, 32'')}{1 + \frac{35{,}54}{3266322}}$$

$$= \frac{1^{gr},2927807\,.\,1{,}00067164}{1{,}00001088} = 1^{gr},2936348.$$

1000 Kubikcentimeter atmosphärischer Luft würden in Berlin bei 0° und 760^{mm} Barometerstand $1^{gr},2936348$ wiegen, mithin fast $0^{gr},0005$ schwerer seyn als bei gleicher Temperatur und unter gleichem Druck in Paris.

Es ist für manche Zwecke wünschenswerth statt der französischen Maaſse und Gewichte die preuſsischen anzuwenden, deshalb habe ich eine Vergleichung beider mit Hülfe der neuesten für diese nothwendigen Untersuchungen ebenfalls vorgenommen.

Schon früher hat Hr. Eytelwein [1]) bei Gelegenheit der Prüfung der Normalmaaſse und Gewichte für den preuſsischen Staat diese Vergleichung angestellt, dabei aber für das Volumen und die Dichtigkeit des Wassers ältere, im Jahre 1792 und 1794 von Blagden und Gilpin darüber angestellte Versuche zum Grunde gelegt, welche den sorgfältigen neueren Arbeiten von Hällström über denselben Gegenstand bedeutend an Zuverlässigkeit nachstehen. Dieſs, und ein Paar Druckfehler in der Abhandlung des Hrn. Eytelwein veranlaſsten mich die Rechnungen, so weit es nöthig war, zu wiederholen. Ebenso nothwendig war es auch, die Tabelle, welche Hr. Hällström [2]) für das Volumen und die Dichtigkeit des Wassers aufgestellt hat, aufs Neue zu berechnen, da die darin angegebene gröſste

1) Ueber die Prüfung der Normal-Maaſse und Gewichte für den Königl. preuſs. Staat und ihre Vergleichung mit den französischen Maaſsen und Gewichten. Abhandl. der Academie der Wissensch. aus d. J. 1825.

2) *Vetenskaps Academiens Handlingar för år* 1833 *p.* 166—192. — Annalen der Physik u. Chemie Bd. 34, S. 220. 1835.

Digitized by Google

Dichtigkeit des Wassers nicht mit dem Resultat aus der angeführten Formel übereinstimmte, und sich bei der letzten Ableitung der Hauptformel, welche Hr. Hällström aus der Verbindung seiner Versuche mit denen von Munke und Stampher herleitet, ebenfalls eine geringe Abweichung zeigte, die, wie ich später fand, bereits Hr. Staatsrath Schumacher[1]) gelegentlich berichtigt hat. Sie ist dadurch entstanden, daſs Hr. Hällström bei der Addition der unten angegebenen vier Formeln von der Formel IX. die letzten Decimalstellen wegliefs, ändert jedoch die Resultate nur in den letzten Stellen, und es bleibt daher der vorher angeführte Fehler der einzige von Bedeutung in dieser werthvollen Abhandlung.

Vor kurzer Zeit sind auch von Hrn. J. Pierre[2]) neue Untersuchungen über das Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen angestellt, welche Hr. Regnault bei seinen Arbeiten benutzt hat; aber diese Versuche sind ohne Ordnung veröffentlicht, und Hr. Pierre sagt am Schlusse derselben, daſs er noch keine Formel habe auffinden können, welche im Stande wäre einen hinreichend genauen Ausdruck für die Ausdehnung des Wassers anzugeben. Man muſs auf die Benutzung dieser Arbeit also vorläufig verzichten.

Die von Hällström für das Volumen des Wassers von 0° — 30° C. aufgestellte Formel ist:

$$v = 1 - 0{,}000057577\,t + 0{,}0000075601\,t^2 - 0{,}000000035091\,t^3$$

als das arithmetische Mittel folgender vier

I. $v = 1 - 0{,}000049976\,t + 0{,}0000062453\,t^2 - 0{,}000000007645\,t^3$

V. $v = 1 - 0{,}000060835\,t + 0{,}0000081037\,t^2 - 0{,}000000048282\,t^3$

VI. $v = 1 - 0{,}000059269\,t + 0{,}0000076816\,t^2 - 0{,}000000037159\,t^3$

IX. $v = 1 - 0{,}000060280\,t + 0{,}0000082138\,t^2 - 0{,}000000047313\,t^3$.

1) *Philosoph. Transact. of the R. Society of London for* 1836. *part. II. p.* 457. *A Comparison of the late Imperial Standard Troy Pound weight with a Platina copy of the same, and with other standards of authority. Communicated by Prof. Schumacher in a Letter to F. Baily. pag.* 488.

2) *Annales de chimie et de physique.* 3ème *série t.* 15 *p.* 325.

Digitized by Google

Dieses wird aber

$$v = 1 - 0{,}000057590\,t + 0{,}0000075611\,t^2 - 0{,}000000035100\,t^3$$

und mit dieser Formel ist die beigefügte Tabelle berechnet.

Ist demnach die Dichte des Wassers bei $0^\circ = 1$, so ist sie

bei $3^\circ{,}9$ C. $= 1{,}00011169$ und bei $18^\circ{,}75$ C. $= 0{,}99865480$.

Es verhält sich also die gröſste Dichte bei $3^\circ{,}9$ C. zu der bei $18^\circ{,}75$ C. $= 15^\circ$ R. wie

$$1 : 0{,}99854327.$$

Dagegen hat Eytelwein nach den Versuchen von Blagden und Gilpin die Dichtigkeit des Wassers bei $3^\circ{,}5$ R. und 15° R. angenommen wie

$$1{,}00094 : 0{,}999421 \text{ oder wie } 1 : 0{,}9984824$$

und mit Hülfe dieser Zahlen das Gewicht eines preuſsischen Pfundes zu $467^{gr}{,}711$ bestimmt [1]).

Bei der Bestimmung der Gewichte ist man überall vom Maaſs ausgegangen, es muſs deshalb einer Vergleichung verschiedener gebräuchlicher Gewichte die Vergleichung der ihnen zum Grunde liegenden Maaſse vorhergehen.

Die preuſsische Maaſs- und Gewichtsordnung vom 16. Mai 1816 bestimmt die Länge eines preuſsischen Fuſses zu 139,13 Linien der *Toise du Pérou* [2]), wenn diese ihre Normaltemperatur d. h. 13° R. $= 16^\circ, 25$ C. besitzt.

1) Eytelwein in den Abhandl. der Academie der Wissenschaften aus d. Jahre 1825 S. 14.

2) Es ist diese *Toise du Pérou* dieselbe, deren sich die HH. Bouguer und Condamine zu ihrer Gradmessung bedienten. Sie liegt sowohl dem französischen wie dem preuſsischen Maaſse zum Grunde, und deshalb sey es mir erlaubt die auf ihre Geschichte bezügliche Stelle aus der *Base du système métrique* hier anzuführen.

Es heiſst in Bd. III, p. 405 in Bezug auf diese und die ihr gleiche *Toise du nord: Ces deux toises ont été faites en 1735 par Langlois; celle du Pérou sous la direction de Godin; la seconde sous la direction de Lacondamine, qui avait alors le dessein de la laisser en dépôt à l'Académie, pour avoir un modèle de celle qu'on emportait au Pérou, et y avoir recours en cas qu'il arrivât quelque accident à la première. On avait comparé ces deux toises ensemble*

Digitized by Google

Das Meter, welches ebenfalls von der *Toise du Pérou* abgeleitet wurde, soll gesetzlich 443,296 solcher Linien messen, deren die Toise bei ihrer Normaltemperatur 864 enthält [1]). Bei genauen Vergleichungen anderer Maaſse mit den französischen hat man das Meter in der Regel nach seinem aus der bekannten Gradmessung abgeleiteten Verhältniſs zur Toise, wonach es 0,5130740 Toisen lang ist, die genau 443,295936 pariser Linien betragen, angenommen.

Hieraus ergiebt sich die Länge eines preuſsischen Fuſses zu

$$\frac{139{,}13}{443{,}296} = 0{,}313853497 \text{ und}$$

$$\frac{139{,}13}{443{,}295936} = 0{,}31385354274937454 \text{ Meter.}$$

Diese Zahlen stimmen nur bis zur siebenten Decimalstelle überein, es wir deshalb überflüssig seyn die Vergleichung beider Maaſse über acht Stellen hinaus vorzunehmen. Im

dans une séance de l'Académie, et l'en n'y avait point trouvé la plus legère différence.

Au départ de Godin, Lacondamine et Bouguer, la toise faite par les soins de Lacondamine resta en dépôt à l'Académie, et c'est celle qui ensuite a été portée en Laponie par Maupertuis qui n'eut pas le temps d'en faire exécuter une copie.

1) *Base du système métrique T. III. p.* 664.

— *il en résulte que l'arc compris entre Dunkerque et Montjouy est de* 9° 40′ 45″,66. *Cette détermination a mis les calculateurs en état de conclure de l'arc mesuré entre Dunkerque et Montjouy l'étendue du quart du méridien terrestre compris entre l'équateur et le pôle boréale; elle est de* 5130740 *toises: d'où il suit que sa dix millionième partie est de* 3 *pieds* 11 *lignes* $\frac{296}{1000}$.

Ferner pag. 675:

La toise dont il s'agit est celle qui est connue sous le nom de toise de l'Académie, et qui a servi pour la mesure des bases de l'arc terrestre au Pérou, et pour celle des bases de la méridienne de France. Cette toise est de fer, et l'on doit remarquer que les deux bases ont été mesurées lorsque la température était à 13 *degrés du thermomètre de Réaumur; d'où il est clair que le mètre doit être rapporté à la toise prise à cette température: mais on peut desirer que l'étalon ait la longueur requise, lorsque le thermomètre marque un autre degré que* 13° *etc.*

Digitized by Google

Folgenden sind aber stets mehr Stellen berechnet, da im günstigsten Falle eine weitere Stelle genau werden kann, und auch mehr in der angehängten Tabelle aufgeführt, weil es mir zweckmäſsiger schien, Jedem zu überlassen die für ihn überflüssigen zu streichen, als dieſs selbst zu thun.

Die Länge des preuſsischen Fuſses von 139,13 pariser Linien gilt aber nur für seine Normaltemperatur von 16°,25 C. und das Meter ist nur für 0° C. gleich 443,295936 derselben pariser Linien [1]). Beide sind von der *Toise du Pérou* abgeleitet, und zwar unter gleichen Umständen, wenn näm-

1) In den *mémoirs de l'institut national des sciences et arts, an VII T. II.* finden sich in dem *Rapport sur la mesure de la méridienne de France et les résultats qui en ont été déduits pour déterminer les bases du nouveau système métrique par Van-Scinden* folgende bezügliche Stellen, welche ich hiermit wörtlich wiedergebe. Es heiſst p. 73 u. 74:

Nous avons dit que le mètre, la dix-millionième partie du quart du méridien, est de 443,296 *lignes de la toise du Pérou. La loi du* 18 *germinal an* 3 *fixe la matière dont ce mètre étalon doit être fait. »Ce sera, dit l'article II, une règle de platine sur laquelle sera tracé le mètre.« L'article III nomme cet étalon, l'étalon prototype. Mais ce métal, comme tous les autres corps, éprouve des variations de longueur par celles de température: ainsi un mètre fait de platine ne saurait avoir dans tous les temps la longueur du mètre idéal, comme aussi des mètres faits de différens métaux ne sauraient être égaux entre eux à toutes les températures; il n'en est qu'une à laquelle ils le sont et peuvent l'être. Ces différences tiennent à la nature même des choses, et sont hors de la puissance de l'homme; ce qui lui reste, c'est la faculté de tout réduire à un terme constant et invariable. Ce terme dépend ici du degré de température qu'on choisira, pour donner exactement au mètre de platine la longueur de la dix-millionième du quart du méridien terrestre déterminée ci-dessus, et au degré de température auquel tous les mètres, de quelque matière qu'ils soient faits, seront exactement égaux entre eux et à celui-ci. La commission, en suivant l'ésprit du système métrique proposé par l'académie et adopté par la loi, a choisi la température de la glace fondante, ou ce que nous nommons le zéro de nos thermomètres; température constante. C'est donc à cette température que l'étalon de platine a été rendu égal à* 443 *l.* $\frac{296}{1000}$ *de la toise du Pérou, cette toise étant supposée à* $16\frac{1}{4}$°, *comme il a été dit ci-dessus.*

Digitized by Google

lich diese ihre gesetzliche Temperatur von 16°,25 C. besitzt. Das oben angegebene Verhältniſs beider muſs deshalb auch bei einer Vergleichung durch diese Maaſse gemessener Längen unverändert bleiben, die zur Messung gebrauchten Maaſsstäbe mögen aus beliebigem Material verfertigt, und die Temperatur, bei der die Messung ausgeführt wurde, mag gewesen seyn, welche sie wolle. Für das Material der Maaſsstäbe und die von der gesetzlichen etwa verschiedene Temperatur sind bei einer wirklichen Messung natürlich Correctionen nothwendig, wozu die Ausdehnungscoëfficienten der für die Maaſsstäbe verwendeten Metalle, und zwar, wo es auf Genauigkeit ankommt, die der Maaſsstäbe selbst, so wie die über die normale Temperatur der Maaſsstäbe gegebenen Gesetze bekannt seyn müssen; sobald diese Correctionen aber ausgeführt sind, muſs sich das obige Verhältniſs ergeben.

Durch Reduction verschiedener Maaſsstäbe z. B. eines Meter- und eines preuſsischen Fuſsmaaſses auf gleiche Temperatur, und Vergleichung dieser Längen, kann sich aber, selbst unter der Voraussetzung, daſs beide Maaſsstäbe aus gleichem Materiale bestehen, niemals das richtige Verhältniſs der durch sie dargestellten Maaſse ergeben. Die Vergleichung der Maaſse muſs unabhängig von dem Material der sie repräsentirenden Maaſstäbe vorgenommen werden, und ohne daſs man der Normaltemperatur einen Einfluſs dabei gestattet, wenn, wie hier, das Verhältniſs beider zu einem dritten bekannt ist. Wollte man, wie es in Gehler's neuem physikalischen Wörterbuche Art. »Maaſs« geschehen ist, das Verhältniſs des preuſsischen Fuſses zum Meter durch Vergleichung der auf gleiche Temperatur reducirten, betreffenden Normalmaaſsstäbe bestimmen, so können dafür mit gleichem Recht zwei Wege eingeschlagen werden. Entweder das Meter wird auf 16°,25 C. gebracht, und bei dieser Temperatur mit dem preuſsischen Fuſse, der bei 16°,25 C. seine normale Länge hat, verglichen, oder der preuſsische Fuſs wird auf 0° reducirt, und dann sein Verhältniſs zum Meter bestimmt. Beide Methoden geben

Digitized by Google

verschiedene Werthe, da beide Normalmaaſsstäbe aus verschiedenem Material bestehen.

Bei Vergleichungen des Meters mit anderen Maaſsstäben gebraucht man in Frankreich den von Borda für Platin bestimmten Ausdehnungscoëfficienten, welcher für 1° C. 0,00000856 beträgt [1]).

Das Meter von 16°,25 C. würde sich also zum Meter von 0° verhalten wie

$$1 + (0,00000856 . 16,25) : 1 = 1,00013910 : 1$$

oder wie

$$443''',3575984647 : 443''',295936$$

und das Meter von 16°,25 C. zum preuſsischen Fuſse von 16°,25 C. wie

$$443''',3575984647 : 139''',13 = 3,18664269 : 1.$$

Nach Bessel's ebenso sorgfältigen wie genauen Untersuchungen [2]) beträgt die Ausdehnung des preuſsischen

3 Fuſs

1) In der *Base du système métrique décimal etc. par M. M. Méchain et Delambre. Paris* 1810. *T. III p.* 440 sind von Van-Svinden die für die Vergleichung des Meters mit Maaſsstäben von anderem Material gebräuchlichen Ausdehnungs-Coëfficienten angegeben wie folgt:

für 1° C. dehnt sich das Platin aus nach Borda um 0,00000856
» » » Messing » » » 0,00001783
das Schmiedeeisen im Mittel nach
Berthoud und Smeaton um 0,00001156
und die Verschiedenheit der Ausdehnung für 1° C. ist
zwischen Eisen und Platin = 0,00000300
zwischen Messing und Platin = 0,00000924
zwischen Messing und Eisen = 0,00000625

2) Darstellung der Untersuchungen und Maaſsregeln, welche in den Jahren 1835 bis 1838 durch die Einheit des preuſsischen Längenmaaſses veranlaſst worden sind, von F. W. Bessel. Berlin 1839. 4to. p. 41. Dieses preuſs. Normalmaaſs, welches Bessel zum Unterschiede von dem früher angefertigten eisernen, das neue Original des preuſsischen Längenmaaſses nennt, ist ein Stab von Huntsman'schem Guſsstahl, und hat die Länge von sehr nahe drei preuſsischen Fuſsen; seine Durchschnitte sind Quadrate von 9 Linien Seite. In seine Enden sind abgekürzte Kegel von Sapphir eingelassen, deren gröſsere Endflächen sich in dem Inneren des Stabes befinden, während die kleineren über die Endflächen

Digitized by Google

3 Fuſs langen Normalmaaſses von Guſsstahl, welches bei 16°,25 C. seine gesetzliche Länge hat, für jeden Grad der hunderttheiligen Scala 0,00001013 seiner Länge oder 0,004375 preuſsische Linien [1]).

Hiernach verhält sich die Länge des preuſsischen Normalmaaſses von 16°,25 C. zu der bei 0° C. wie

$$1:1-(0{,}00001013\,.\,16{,}25)=1:0{,}9998353875$$
$$=144''':143''',97629580.$$

Gebraucht man den von Bessel gegebenen Ausdruck in Linien, so giebt dieser die Länge bei 0° zu 143''',97630208 preuſsischen Linien. Die Differenz rührt daher, daſs die für die Einheit angegebene Ausdehnung des Maaſsstabes genau gleich ist 0,00437616 Linien, anstatt der in der oben angeführten Abhandlung = 0,004375 Linien gesetzten.

Da nun 144 preuſsische Linien gleich sind 139,13 pariser Linien, und sich der preuſsische Fuſs von 16°,25 zum preuſsischen Fuſs von 0° wie 1:0,9998353875 verhält, so ist der preuſsische Normalfuſs von Guſsstahl bei 0°

$$139''',13\,.\,0{,}9998353875=139''',1070975 \text{ pariser Linien}$$

bei 16°,25 C., also

$$\frac{443{,}295936}{139{,}1070975}=3{,}186724071 \text{ preuſs. Fuſs gleich 1 Meter.}$$

Gegen diese Vergleichungen läſst sich einwenden, daſs das für die erstere untergelegte Meter nicht das gesetzlich bestimmte Meter ist, denn dieſs hat nur bei 0° seine wahre Länge, und ganz dasselbe gilt für die zweite, denn der auf 0° reducirte preuſsische Fuſs ist nicht der normale, sondern kürzer. Es würde nur unter den Umständen dieses für ihn gefundene Verhältniſs zum Meter gelten können, wenn letzteres genau von solchem Stahl, das denselben Ausdehnungscoëfficienten besitzt wie das preuſsische

des Stahls ein wenig hervorragen, und durch ihre Entfernung, in der Axe des Stabes gemessen, sein Maaſs angeben. Unter der Axe des Stabes versteht Bessel die gerade Linie, welche die Durchschnittspunkte der Diagonalen seiner beiden Endflächen mit einander verbindet.

1) pag. 54—68 in dem kurz vorher citirten Werke.

Normalmaaſs, verfertigt wäre; dann würde aber bei der Temperatur von 16°,25 C., bei welcher der preuſsische Fuſs seine rechte Länge hat, das Meter zu lang seyn.

Geht man auf die uranfängliche Bestimmung des Meters zurück, so ist seine Länge gleich dem zehnmillionsten Theil eines Erd-Meridianquadranten, bestimmt auf der eisernen *Toise du Pérou* bei ihrer wahren Temperatur von 16°,25 C, und zwar zu 443,296 Linien derselben. Statt dieser Zahl, welche sich in Bruchtheilen der Toise nicht völlig genau wiedergeben läſst, nimmt man bei Vergleichungen gewöhnlich die richtigere = 443,295936 Linien = 0,5130740 Toisen. Daſs man nun das Normalmeter aus Platin verfertigte, und die Temperatur, bei der es nur als Meter gelten sollte, auf 0° festsetzte, muſs als von jener Bestimmung unabhängig betrachtet werden. Dann ist aber das Verhältniſs des preuſsischen Fuſses zum Meter durch die obige Bestimmung vollkommen genau gegeben, denn indem das Gesetz vom 16. Mai 1816 die Länge des preuſsischen Fuſses zu 139,13 Linien der *Toise du Pérou,* wenn diese ihre Normaltemperatur von 16°,25 C. = 13° R. besitzt, feststellt, so folgt daraus unmittelbar, daſs sich der preuſsische Fuſs zum Meter verhält wie 139,13 : 443,295936, welche Zahlen meinen Berechnungen zum Grunde liegen.

Doch auch aus einer Vergleichung der Maaſsstäbe bei gleicher Temperatur erhält man dasselbe Resultat, wenn dabei, wie es nothwendig ist, die gesetzlichen Bestimmungen über ihre wahre Länge berücksichtigt werden. Das Verhältniſs des Normalmeters zum preuſsischen Normalfuſs, wenn beide die Temperatur von 0° haben, ist gleich 3,186724071 : 1. Der preuſsische Fuſs von 0° ist aber kürzer als er der Vorschrift nach seyn soll, und zwar verhält sich seine Länge bei dieser Temperatur zu der, in der er gesetzlich als preuſsischer Fuſs gilt, nach dem vorher Angeführten, wie 0,9998353875 : 1. Das obige Verhältniſs zum Meter ist also zu groſs, und muſs kleiner werden indem der Fuſs länger wird, oder sich von 0° C. bis 16°,25 C.

Digitized by Google

ausdehnt. Dadurch hebt sich aber natürlich die frühere Reduction auf, und es ergiebt sich die Länge des preuſsischen Fuſses zu der des Meters wie

$$1:3{,}186724071 \, . \, 0{,}9998353875 = 1:3{,}186199496.$$

Das englische Maaſs und Gewicht ist durch die Parlamentsacte vom 17. Juni 1824 genau bestimmt. Als Einheit für das Maaſs gilt die Länge des im Hause der Gemeinen aufbewahrten messingenen, von Bird 1760 verfertigten *Imperial-Standard Yard* bei 62° F. ($16^\circ \frac{2}{3}$ C.). Der dritte Theil desselben macht einen Fuſs (*Foot*) aus, welcher wiederum in 12 Zoll (*Inch*) getheilt wird.

Die Länge des *Yard* ist mit der Länge des einfachen Sekundenpendels für die Breite von London (51° 31′ 8″,4), welche auf den leeren Raum und auf das Meeresniveau reducirt ist, verglichen, und dadurch so bestimmt, daſs der *Yard* 36 solcher Zoll bei einer Temperatur von 62° F. enthält, deren das Pendel bei derselben Temperatur 39″,1393 Zoll miſst [1]).

Dabei hat man indeſs angenommen, daſs das für die Messungen der Pendellänge vom Kapt. Kater gebrauchte sogenannte Shuckburgh'sche Maaſs gleich groſs sey mit dem Bird'schen. Die Vergleichung beider mit dem Meter, welche Kapt. Kater ebenfalls anstellte, hat aber gezeigt, daſs

39″,37079 des Shuckburgh'schen Maaſses gleich sind
39″,37062 des Bird'schen, gesetzmäſsigen Etalons,

1) Für den preuſsischen Staat ist die durch das Gesetz bestimmte Vergleichung der Länge des Fuſses mit der des einfachen Sekundenpendels für Berlin durch Bessel ebenfalls angestellt worden. Diese Bestimmung unterscheidet sich aber in so fern von der englischen, als die Pendellänge für Berlin unter 52° 30′ 16″ nördl. Breite ohne Reduction auf die Oberfläche des Meeres zu 456‴,1626 preuſs. Linien dabei zum Grunde gelegt ist. Das Verhältniſs des preuſs. Fuſses zur Pendellänge ist hiernach wie 144‴ : 456‴,1626, und wird mit der von Bessel ausgeführten Reduction für das Niveau der Ostsee wie 144‴ : 456‴,1663. Darstellung der Untersuchungen etc. über die Einheit des preuſs. Längenmaaſses v. F. W. Bessel pag. 95.

Digitized by Google

und daſs das Meter von 0° gleich ist 39",37062 Zoll von Bird's *parliamentary Standard Yard* bei 62° F. [1]).

Ich habe deshalb für die nachfolgenden Bestimmungen die letztere Angabe gebraucht, und die Differenz vernachlässigt, welche daraus hervorgeht, daſs das Meter anstatt zu 443"',296 zu 443"',295936 Linien angenommen ist.

Bei der Bestimmung der Gewichtseinheit hat man überall, und gewiſs mit Recht, als passendsten Körper für die Ausfüllung eines gewissen Raumes das Wasser gewählt, welches am leichtesten von immer gleicher Reinheit erhalten werden kann. Weiter findet aber für die darüber geltenden Gesetze in Preuſsen, Frankreich und England keine Uebereinstimmung statt. Daſs das als Einheit in jedem Staate geltende Längenmaaſs auch hier für das Raummaaſs beibehalten ist, scheint ganz natürlich, aber auſserdem weichen noch alle Bestimmungen in sofern von einander ab, als die Temperatur des Wassers, bei welcher ein gewisses Raummaaſs desselben die Einheit des Gewichtes ausmacht, in allen Ländern verschieden ist.

Ob hier eine Temperatur vor der anderen den Vorzug verdiene, läſst sich schwer entscheiden. Die des schmelzenden Eises, die seiner gröſsten Dichtigkeit oder irgend eine höhere sind unter Umständen alle gleich schwer so lange constant zu erhalten als die Versuche es erfordern. Man wird überall Correctionen anbringen müssen, die, wenn die Ausdehung des Wassers hinreichend genau ermittelt ist, keinen erheblichen Fehler für das Endresultat ergeben werden, und da man gewöhnlich mit Wasser nicht wägt, so wird die Temperatur desselben auſserdem nur für die Bestimmung der Gewichtseinheit von Bedeutung seyn.

Zweckmäſsig erscheint es aber gewiſs, wenigstens die Temperatur für das Wasser anzunehmen, bei welcher zugleich die Maaſseinheit ihre gesetzliche Länge hat. Eine solche Uebereinstimmung zwischen Maaſs und Gewicht fin-

1) *On the length of the French Mètre estimated in parts of the Englisch standard. By Capt. Henry Kater. Philosophic. Transact.* 1818 *part.* I. *p.* 103.

Digitized by Google

det jedoch nur in England statt, doch werden hier wieder in anderer Beziehung Correctionen verlangt, da das Gewicht des Wassers nicht unabhängig von der als Gegengewicht zu gebrauchenden Substanz gemacht ist, eine Anforderung, die für gesetzliche Bestimmungen gewiſs verlangt werden muſs, wenn das Gewicht zugleich für wissenschaftliche Untersuchungen in Anwendung kommen soll.

Aus diesem Grunde ist denn auch die Vergleichung der englischen Gewichte mit den preuſsischen und französischen nur für den leeren Raum vorgenommen, was zu gleicher Zeit frei von Voraussetzungen geschehen konnte, da die Commission zur Bestimmung der Maaſse und Gewichte für England, die dazu nöthigen Ermittelungen selbst gemacht hat, wie sie weiter unten mitgetheilt sind.

Mehr wie sieben oder höchstens acht Stellen werden aber bei den nachfolgenden Angaben über die Verhältnisse der verschiedenen Gewichte, schon wegen der nicht weiter reichenden Genauigkeit der Dichtigkeitsbestimmungen des Wassers, nicht brauchbar seyn, doch reichen diese, der Vollkommenheit unserer Waagen gegenüber, auch aus.

Die preuſs. Maaſs- und Gewichtsordnung vom 16. Mai 1816 setzt fest, daſs ein preuſsisches Pfund dem sechs und sechszigsten Theile von dem Gewichte eines preuſsischen Kubikfuſses destillirten Wassers im luftleeren Raume bei 15° R. = 18°,75 C. gleich sey.

Ein preuſsisches Pfund ist gleich 32 Loth oder 16 Unzen, 1 Loth gleich 4 Quentchen oder Drachmen, und eine Drachme gleich 60 Gran. Ein preuſsisches Quart enthält 64 Kubikzoll.

Nach den französischen Bestimmungen wiegt 1 Kubikdecimeter des dichtesten Wassers[1]) im luftleeren Raume

1) In dem oben citirten Werke des Hrn. Regnault ist die Temperatur der gröſsten Dichtigkeit des Wassers zu 4° C. angenommen. Die vorher angeführten Bestimmungen des Hrn. Hällström ergeben jedoch die gröſste Dichtigkeit desselben bei 3°,9 C., und da die Differenz von 0°,1 C. zwischen beiden Temperaturen erst in der achten Decimalstelle einen Unterschied in dem specifischen Gewichte des Wassers hervorbringt, so habe ich ohne Bedenken die Angaben des letzteren beibehalten.

Digitized by Google

1 Kilogramm = 1000 Grammen, und der Raum, den dieses Wasser einnimmt, ist zugleich unter der Benennung Litre die Einheit der Raummaaſse.

In England ist in Bezug auf die Gewichte durch die Parlamentsacte vom 17. Juni 1824 bestimmt [1]), daſs das messingene im Hause der Gemeinen aufbewahrte *Imperial Standard Troy Pound* das gesetzliche Gewicht sey, von dem alle übrigen abgeleitet werden sollen.

Der zwölfte Theil dieses *Troy*-Pfundes ist 1 Unze (*Ounce*), der zwanzigste Theil einer Unze 1 *Pennyweight*, und der vier und zwanzigste Theil eines *Pennyweight* 1 *Grain*, deren 5760 ein *Troy*-Pfund, und 7000 ein Pfund *Avoirdupois* ausmachen.

Der sechszehnte Theil des letzteren ist 1 Unze *Avoirdupois*, welche 16 *Drams* enthält.

Ein englischer Kubikzoll destillirten Wassers wiegt in der Luft mit Messinggewichten bei 62° F. = $16°,\frac{2}{3}$ C. und 30 Zoll Barometerstand $252^{g},458$ *Grains*. Für den luftleeren Raum ist das Gewicht eines englischen Kubikzolles destillirten Wassers bei einer Temperatur von 62° F. durch die für die Bestimmung der Maaſse und Gewichte niedergesetzte Commission zu $252^{g},722$ *Grains* gefunden [2]).

Für die Hohlmaaſse gilt als Einheit der *Imperial Standard Gallon*, welcher 10 Pfund *Avoirdupois* destillirtes Wasser in der Luft bei 62° F. und 30 Zoll Barometerstand enthalten soll. 1 *Gallon* ist gleich 4 Quart.

Nach diesen Bestimmungen ergiebt sich nun das Gewicht eines preuſsischen Pfundes in Grammen auf folgende Weise:

Da das Meter bei 0° $443''',295936$ solcher Linien enthält, wie der preuſsische Fuſs bei 16°,25 C. $139''',13$ Linien,

1) *Philosophical Transactions* 1826. *Part II. pag.* 1.

2) *Third Report of the Commissioners appointed by His Majesty to consider the Subject of Weights and Measures. Thomson's Annals of Philosophy. New series. July to Decbr.* 1821. *Vol. II. p.* 152. — *Journal of science, literature and the arts.* 1821. *No. XXII p.* 378.

Digitized by Google

so ist ein preuſs. Fuſs = 0,31385354274937454 Meter und ein preuſs. Kubikfuſs = 0,0309158439052 Kubikmeter.

Ein Kubikmeter enthält 1000000 Grammen des dichtesten Wassers, also ein preuſs. Kubikfuſs $30915^{gr},8439052$ Grammen, und ein preuſsischer Kubikzoll

$$= \frac{30915,8439052}{1728} = 17^{gr},891113371 \text{ Grammen.}$$

Mit der von Hällström angegebenen, berichtigten Formel findet man die Dichtigkeit des Wassers, wenn sie bei $0^\circ = 1$ gesetzt wird, bei $3^\circ,9$ C. = 1,00011169 und

bei $18^\circ,75$ C. = 0,99865480,

wenn sie bei $3^\circ,9$ C. = 1 gesetzt wird,

bei $18^\circ,75$ C. = 0,99854327

und daraus folgt das Gewicht eines preuſsischen Kubikzolls destillirten Wassers, welches bei $3^\circ,9$ C. $17^{gr},891113371$ Grm. beträgt, bei $18^\circ,75$ C.

$$= 17,891113371 \,.\, 0,99854327 = 17^{gr},8650508494 \text{ Grammen.}$$

Das Gewicht von 1 Kubikzoll destillirten Wassers von $18,^\circ75$ C. ist aber genau gleich $\frac{11}{288}$ preuſs. Pfund, und daher

1 preuſs. Pfund = $17^{gr},86505085 \,.\, \frac{288}{11}$	=	$467^{gr},739513164$	Grm.
1 preuſs. Loth	=	14 ,616859786	Grm.
1 preuſs. Gran	=	0 ,060903582	Grm.
1 Gramm	=	0 ,0684141474	preuſs. Loth
1 Gramm	=	16 ,419395377	preuſs. Gran
1 Kilogramm	=	2 ,137942106	preuſs. Pfund
1 Meter	=	3 ,1861994968	preuſs. Fuſs.

Das Verhältniſs des preuſsischen und englischen Maaſses läſst sich auf folgende Weise bestimmen:

1 Meter bei 0°	=	39″,37062 engl. Zolle bei 62° F. = $16^\circ\frac{2}{3}$ C.
1 Meter bei 0°	=	38″,2343939624808 preuſs. Zolle bei $16^\circ\frac{1}{4}$ C.
1 engl. Zoll	=	0″,971140255411 preuſs. Zoll
1 engl. Kubikzoll	=	0″,915895383962 preuſs. Kubikzoll.

Da nun ein preuſs. Kubikzoll destillirtes Wasser von 15° R. = $18^\circ\frac{3}{4}$ C. im luftleeren Raume $1\frac{2}{9}$ preuſs. Loth wiegt, und sich das specifische Gewicht des Wassers von

Digitized by Google

18° $\frac{3}{4}$ C. zu dem von 16° $\frac{2}{3}$ C. verhält wie

0,99865480 : 0,99902299 oder wie

1 : 1,00036869,

so wird das Gewicht eines preuſs. Kubikzolles Wasser von 16° $\frac{2}{3}$ C.

$$\frac{11}{9} \,.\, 1{,}00036869 = 1{,}22267284$$ preuſs. Loth,

und das eines engl. Kubikzolles Wasser von 16° $\frac{2}{3}$ C.

0,9158953839 62 . 1,22267284 = 1,119840410 preuſs. Loth,

welche nach den Ermittelungen der für die Bestimmung der Maaſse und Gewichte niedergesetzten englischen Commission gleich sind

252,722 englischen Grän;

also ein engl. Grän gleich

$$\frac{1{,}119840410251708}{252{,}722} = 0{,}004431115653$$ preuſs. Loth,

und ein engl. Grän gleich

14,616859786 Grm. 0,004431115653 = 0,064768996195 Grm.

Daraus ergiebt sich

1 Pfd. *Troy* = 5760 Grän = 25,523226161280 preuſs. Lth.
= 373,0694180832 Grammen.

1 Pfd *Avoirdupois* = 7000 Grän = 31,017809571 pr. Lth.
= 453,382973365 Grm.

Der leichtern Uebersicht halber sind die hauptsächlichsten Verhältnisse der Maaſse und Gewichte in dieser Tabelle zusammengestellt.

1 Meter	0,5130740	Toisen
	443,295936	pariser Linien
	39,37062	englische Zoll
	38,234394	preuſs. Zoll
	36,941328	pariser Zoll
1 pariser Fuſs	1,03500323	preuſs. Fuſs
	1,06576082	englische Fuſs
	0,32483943	Meter
1 preuſs. Fuſs	0,96618056	pariser Fuſs
	1,02971738	englische Fuſs
	0,31385354	Meter
1 englischer Fuſs	0,93829683	pariser Fuſs
	0,97114025	preuſs. Fuſs
	0,30479581	Meter.

Digitized by Google

1 Kilogramm	2,137942106	preuſs. Pfund
	2,680466293	Troy Pfund
	2,205640835	Avoirdupois Pfund
1 Gramm	0,0684141474	preuſs. Loth
	16,419395377	preuſs. Gran
	15,4394858458	engl. Grains.
1 preuſs. Pfund	467,739513164	Grammen
	1,253759999	Troy Pfund
	1,0316653704	Avoirdupois Pfund
1 preuſs. Loth	14,616859786	Grammen
	225,676799774	englische Grains
1 preuſs. Gran	0,0609035824	Grammen
	0,940319999	engl. Grains.
1 Troy Pfund	373,069418083	Grammen
	25,5232261613	preuſs. Loth
1 Troy Unze	31,0891181736	Grammen
	2,1269355134	preuſs. Loth
1 Grain	0,0647689962	Grammen
	1,0634677567	preuſs. Gran.
1 Pfund Avoirdupois	453,382973365	Grammen
	31,017809571	preuſs. Loth
1 Unze Avoirdupois	28,336435835	Grammen
	1,938613098	preuſs. Loth.
1 Liter	55,893670744	preuſs. Kubikzoll
	0,873338605	preuſs. Quart.

Das Gewichtsverhältniſs zwischen Luft und Wasser ist für Paris, wenn das Gewicht eines Liters trockner Luft bei 0° und 760^{mm} Barometerstand zu $1^{gr},293204$ angenommen wird,
zwischen Luft von 0° und Wasser von 3°,9 C.

$$= 1 : \frac{1000}{1,293204} = 1 : 773,27320$$

zwischen Luft von 0° und Wasser von 0° C.

$$= 1 : \frac{999,888322}{1,293204} = 1 : 773,18684.$$

Für Berlin, wo ein Liter Luft von 0° unter 760^{mm} Druck $1^{gr},293635$ Grm. wiegt, wird das Verhältniſs

Digitized by Google

zwischen Luft von 0° und Wasser von 3°,9 C.

$$= 1 : \frac{1000}{1,293635} = 1 : 773,01557$$

zwischen Luft von 0° und Wasser von 0° C.

$$= 1 : \frac{999,888322}{1,293635} = 1 : 772,92921.$$

Ein preuſsischer Kubikzoll ist gleich 17,891113371 Kubikcentimetern, daraus ergiebt sich

$$1 \text{ Liter} = \frac{1000}{17,891113371} = 55,8936707438 \text{ Kubikzoll}$$

$$1 \text{ Liter} = \frac{55,8936707438}{64} = 0,87333860537 \text{ preuſs. Quart.}$$

Das Gewicht eines Liters trockner Luft in Berlin bei 0° und 760^{mm} Barometerstand ist genau gleich $1^{gr},2936348$ Grammen. Es wiegt also

$$1 \text{ preuſs. Kubikzoll Luft } \frac{1,2936348}{55,893671} = 0,0231445667 \text{ Grm.}$$

oder

$$16,419395377 . 0,0231445667 = 0,38001979147 \text{ preuſs. Gran.}$$

Wird nun das specifische Gewicht

des Sauerstoffgases	= 1,105628
des Wasserstoffgases	= 0,069268
des Stickgases	= 0,971360
der Kohlensäure	= 1,529084

und das Gewicht eines Kubikzolles atmosphärischer Luft bei 0° und 760^{mm} Druck in Berlin = 0,38002 Gran gesetzt, so erhält man das Gewicht eines Kubikzolls

Sauerstoffgas	= 0,420161	preuſs.	Gran
Wasserstoffgas	= 0,026323	»	»
Stickgas	= 0,369136	»	»
Kohlensäure	= 0,581083	»	»

Ist das Gewicht eines Liters trockner atmosphärischer Luft bei 0° und 760^{mm} Druck in Berlin = $1^{gr},293635$, so wiegt unter denselben Umständen 1 Liter

Sauerstoffgas	= $1^{gr},430279$
Wasserstoffgas	= $0^{gr},089608$
Stickgas	= $1^{gr},256585$
Kohlensäure	= $1^{gr},978077$

Digitized by Google

Schlieſslich komme ich noch einmal auf die oben angeführte Abhandlung des Hrn. Regnault *»détermination de la densité de gaz«* zurück.

Die bei den Gewichtsbestimmungen der Gase von Hrn. Regnault angewendete eigenthümliche Methode, welche durch eine so groſse Uebereinstimmung der einzelnen Versuche, wie sie nur irgend wünschenswerth ist, nicht allein ihre Vorzüglichkeit, sondern auch die Zuverlässigkeit der damit gemachten Bestimmungen hinlänglich verbürgt, benutzte derselbe auch, um zu prüfen, in wie weit sich die Richtigkeit des Mariotte'schen Gesetzes für die atmosphärische Luft und die Kohlensäure, und der auf anderem Wege gefundene Ausdehnungscoëfficient dieser beiden Gase durch Wägen ermitteln lassen möchte, indem er entweder das Gewicht des den Ballon füllenden Gases bei derselben Temperatur unter verschiedenem Drucke bestimmte, oder die Quantität desselben, welche bei dem Temperaturunterschiede von 0° bis 100° C. und dem jedesmaligen Drucke der Atmosphäre aus dem Ballon entwich.

Die mit der atmosphärischen Luft erhaltenen Resultate zeigen, daſs bei sorgfältiger Ausführung die Bestimmungen durch Wägen hinreichend genau sind, um die früher erhaltenen Werthe zu bestätigen. Ganz dasselbe gilt für die Versuche über den Ausdehnungscoëfficienten der Kohlensäure; aber es ergab sich, daſs bei einem schwächeren Drucke als dem der Atmosphäre die Kohlensäure bei 0° C. vom Mariotte'schen Gesetze abwich. Es wurde deshalb ein Versuch angestellt, um zu erfahren, ob das Gewicht der den Ballon füllenden Kohlensäure bei 100° C. dem Drucke proportional sey, und aus dem erhaltenen Resultate gefolgert, daſs die Kohlensäure, wenn sie bis 100° C. erhitzt ist, unter schwächerem Drucke als dem der Atmosphäre dem Mariotte'schen Gesetze folge.

Die über diesen Versuch mitgetheilten Zahlen sind folgende:

Ballon gefüllt mit Kohlensäure in siedendem Wasser
$P = 5^{gr},901 \quad H_0 = 760^{mm},34$
$T = 100^{o},01$

Ballon in siedendem Wasser, gefüllt mit Kohlensäure unter einem Drucke . . . . $F_0 = 343^{mm},08$
$P = 13^{gr},7405 \quad H_0 = 757^{mm},98$
$T = 99^{o},92$

Ballon in siedendem Wasser, gefüllt mit Kohlensäure unter einem Drucke von $4^{mm},69$
$P = 20^{gr},091 \quad H = 756^{mm},51$,

wobei $P =$ der Anzahl Grammen, welche nothwendig waren um den mit Gas gefüllten Ballon mit dem als Gegengewicht angewendeten Ballon ins Gleichgewicht zu bringen. $H_0 =$ dem corrigirten Barometerstande; $T =$ der Temperatur beim Schlieſsen des Hahnes, und F_0 den Unterschied in der Höhe der Quecksilbersäule zwischen dem Manometer und dem gleichzeitig beobachteten, daneben befindlichen Barometer angiebt.

Daraus folgt das Gewicht der Kohlensäure, welche den Ballon bei $100^{o},01$ unter dem Drucke von $755^{mm},65$ füllt $= 14^{gr},190$, also für den Druck von 760^{mm}

$$\frac{14^{gr},190 \,.\, 760}{755,65} = 14^{gr},2717.$$

Das Gewicht der Kohlensäure, welche den Ballon bei 99° 92 C., und bei einem Drucke von $338^{mm},39$ füllt, ist gefunden zu $6^{gr},3505$. Bei der Temperatur von $100^{o},01$ C. würde dasselbe Volumen natürlich weniger gewogen haben, und zwar um so viel, als dem Ausdehnungsgesetze der Kohlensäure von $99^{o},92$ bis zu $100^{o},01$ entspricht.

Die Volumina der Kohlensäure bei $99^{o},92$ C. und bei $100^{o},01$ C. verhalten sich wie

$$1 + (0,003688 \,.\, 99,92) : 1 + (0,003688 \,.\, 100,01) = 1 : 1,0002425$$

also die Dichtigkeiten wie 1:0,9997575.

Daraus erhält man, wenn ein Volumen Kohlensäure von $99^{o},92$ C. $= 6^{gr},3505$ wiegt, das Gewicht eines ebenso groſsen Volumens Kohlensäure von $100^{o},01$ C.

$$= 6,3505 \,.\, 0,9997575 = 6^{gr},349.$$

Hr. Regnault hat das Gewicht unter denselben Umständen zu $6^{gr},3549$ berechnet.

Nach dem Mariotte'schen Gesetze ergiebt sich das Gewicht eines Volumens Kohlensäure, welches bei 760^{mm} Druck $14^{gr},2717$ beträgt, für einen Druck von $338^{mm},39$

$$\frac{14,2717 \,.\, 338,39}{760} = 6^{gr},3545.$$

Die Differenz zwischen dem gefundenen und berechneten Gewichte ist $0^{gr},0055$, die Uebereinstimmung beider daher keineswegs so grofs, dafs sie zu der Annahme berechtigte, die Kohlensäure folge bei 100° dem Mariotte'schen Gesetze; es geht aus diesem Experiment nur hervor, dafs die Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetze bei 100° geringer sind als bei 0°.

Wegen dieser Abweichungen ist es aber unzulässig das specifische Gewicht der Kohlensäure zur Feststellung des Atomgewichts des Kohlenstoffs zu benutzen, zumal uns für diesen Zweck die Analysen kohlereicher Kohlenwasserstoffe so genaue Resultate geben, als sie nur irgend verlangt werden können.

Die Untersuchungen des Hrn. Regnault geben uns in Bezug auf Atomgewichte aber ein anderes interessantes Resultat. Es ist durch sie das specifische Gewicht des Wasserstoffgases zu 0,069268, das des Sauerstoffgases zu 1,105628 bestimmt. Versucht man daraus das Verhältnifs zu berechnen in welchem beide Wasser bilden, so erhält man

1 Maafs Wasserstoffgas	= 0,069268	= 11,135
½ Maafs Sauerstoffgas	= 0,552814	= 88,865
1 Maafs Wassergas	= 0,622082	100,000

und das Atomgewicht des Wasserstoffs ergiebt sich zu

$$\frac{0,069268 \,.\, 100}{1,105628} = 6,265.$$

Durch Reduction des Kupferoxydes mit Wasserstoff hat Berzelius das Aequivalent des Wasserstoffs zu 12,48 bestimmt, und sich trotz der neueren Versuche, welche diese Zahl auf 12,50 festzustellen suchten, nicht veranlafst gefühlt, es bis dahin zu erhöhen.

Digitized by Google

Wenn man die jeder Methode, selbst bei der sorgfältigsten Ausführung, anhaftenden Fehlerquellen in Betracht zieht, so läſst sich nicht läugnen, daſs die Bestimmung des Wasserstoffaequivalents durch Reduction von Metalloxyden eher einen geringeren als einen höheren Werth für das Atomgewicht ergeben kann, da wohl ein Verlust, schwerlich aber ein Ueberschuſs von Wassergas hierbei zu befürchten ist. Das specifische Gewicht von Gasarten ist hingegen, so wie die zahlreichen darüber angestellten Versuche uns jetzt vorliegen, meist höher beobachtet, als die Rechnung es erfordert, und dieſs vielleicht auch noch dadurch zu erklären, daſs sich das Gas an den Wandungen der Gefäſse in einem etwas dichteren Zustande befindet. Das aus dem spec. Gewicht abgeleitete Atomgewicht wird aus diesem Grunde daher meist gröſser gefunden als nach der ersten Methode.

Beide Methoden geben also für die Bestimmung des Atomgewichts Resultate, deren Fehlerquellen nach entgegengesetzten Seiten liegen, und durch Verbinden beider erhält man als Mittel eine Zahl, welche die Annahme von 12,5 für das Aequivalent des Wasserstoffs vollkommen rechtfertigt.

Tabelle über das Volumen und das specifische Gewicht des Wassers für die Temperaturen von 0° — 30° C. berechnet nach der von Hällström abgeleiteten Formel:

$$v = 1 - 0{,}000057590\,t + 0{,}0000075611\,t^2 - 0{,}0000000351\,t^3.$$

Grade d. hunderttth. Scala.	Volumen.	Specifisches Gew.	Grade d. hunderttth. Scala.
0	1,00000000	1,00000000	0
1	0,99994994	1,00005006	1
2	0,99991478	1,00008523	2
3	0,99989433	1,00010568	3
3°,9	0,99988832	1,00011169	3°,9
4	0,99988837	1,00011164	4
5	0,99989669	1,00010332	5
6	0,99991908	1,00008093	6
7	0,99995532	1,00004468	7
8	1,00000522	0,99999478	8
9	1,00006855	0,99993145	9
10	1,00014511	0,99985491	10

Digitized by Google

Grade d. hunderttb. Scala.	Volumen.	Specifisches Gew.	Grade d. hunderttb. Scala.
11	1,00023469	0,99976537	11
12	1,00033707	0,99966304	12
13	1,00045204	0,99954816	13
14	1,00057940	0,99942094	14
15	1,00071894	0,99928158	15
16	1,00087043	0,99913033	16
$16\frac{2}{3}$	1,00097797	0,99902299	$16\frac{2}{3}$
17	1,00103368	0,99896739	17
18	1,00120847	0,99879299	18
$18\frac{3}{4}$	1,00134701	0,99865480	$18\frac{3}{4}$
19	1,00139460	0,99860734	19
20	1,00159184	0,99841069	20
21	1,00179999	0,99820324	21
22	1,00201885	0,99798522	22
23	1,00224819	0,99775685	23
24	1,00248781	0,99751836	24
25	1,00273750	0,99726997	25
26	1,00299705	0,99701191	26
27	1,00326624	0,99674439	27
28	1,00354487	0,99646765	28
29	1,00383272	0,99618191	29
30	1,00412959	0,99588739	30

II. *Beobachtungen über die Elasticität der Metalle; angestellt von A. W. Napiersky,*

Cand. philos. und Oberlehrer der mathematischen Wissenschaften am Gymnasium zu Mitau.

(Mitgetheilt vom Hrn. Academiker Kupffer in Petersburg.)

Unter allen Naturkörpern gehören die Metalle zu den über die ganze Erde verbreitetsten und nothwendigsten. Es ist daher vom gröſsten Interesse, die besonderen Eigenschaften derselben aufs genaueste zu erforschen. Eine der merkwürdigsten Eigenschaften der Metalle ist ihre verschiedene Elasticität. Ich theile im Folgenden meine Beobachtungen über die Elasticität dreier Metalldrähte, eines Eisen-, eines Messing- und eines Silberdrahts mit. Diese

experimentelle Untersuchung ist eine Wiederholung der Versuche, welche in St. Petersburg vom Academiker Staatsrath **Kupffer** angestellt, und deren Resultate im vorigen Jahre in einem Auszuge aus den Memoiren der Kaiserlichen Academie der Wissenschaften veröffentlicht worden sind [1]).

Wenn ein Draht an seinem oberen Ende befestigt, am unteren aber durch ein Gewicht gespannt wird, und man dreht dieses Gewicht in horizontaler Ebene um seine verticale Axe, welche mit der Axe des Drahts zusammenfällt, so beginnt eine Reihe von Schwingungen, die durch die elastische Kraft des Drahtes hervorgebracht werden, und es ist auch ohne mathematische Entwickelung leicht einzusehen, dafs die Schwingungen um so schneller vor sich gehen, je gröfser die Kraft ist, welche das Gewicht in die Gleichgewichtslage zurückzuführen sucht, wenn es daraus entfernt wird, und dafs man mithin die Dauer einer Schwingung als Maafs der elastischen Kraft des Drahts gebrauchen könne. Schon **Coulomb** bediente sich dieser Methode, um die Gesetze der Torsions-Elasticität zu ermitteln.

Bezeichnet man mit l die Länge des Drahts, mit t die Dauer einer Schwingung, mit k das Trägheitsmoment des angehängten Gewichtes, ist ferner g der doppelte Fallraum der ersten Sekunde und π die bekannte Zahl 3,14159 ...., so lehrt die Mechanik, dafs

$$n = \frac{\pi^2 k}{g t^2},$$

wo n die elastische Kraft des Drahtes ist, d. h. dasjenige Gewicht, welches man an einem Hebelarm $= 1$ anwenden mufs, um den Draht an einem Ende um einen der Einheit gleichen Bogen zu drehen. Als Längeneinheit ist im Folgen-

1) Siehe: *Recherches expérimentales sur l'elasticité des métaux par A. Kupffer. (Extrait des Mémoires de l'Académie Impériale des sciences de St. Petersbourg, sciences mathématiques T. V.) St. Petersbourg* 1849.

Digitized by Google

genden der Rufsische Zoll, als Gewichtseinheit das Rufsische Pfund und als Zeiteinheit die Sekunde gebraucht worden. Ist nun der Halbmesser des Drahts r und bedeutet μ die elastische Kraft eines Drahts von der Länge 1 und dem Halbmesser 1, so ist

$$\mu = n \,.\, \frac{l}{r^4} \text{ und } \delta = \frac{1}{5\mu},$$

wo mit δ die Ausdehnung bezeichnet wird, welche ein Cylinder von der Länge 1 und dem Radius 1 durch die Gewichtseinheit erleidet.

Ich gehe nun zur Beschreibung des zu diesen Versuchen hergestellten Apparats über. Taf. IV. Fig. 1. stellt denselben im Ganzen dar; aa' ist ein starkes Brett, das zu beiden Seiten in die Mauer des Fensters befestigt ist; bb' ist der Metalldraht, cc' ein eiserner Cylinder von unfähr 22 Zoll Länge und $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser, welcher horizontal am unteren Ende des Drahts aufgehängt ist. Dieser Cylinder der auf Taf. IV. Fig. 2 besonders abgebildet ist, hat auf seiner Oberfläche, in einer geraden Linie parallel mit der Axe, acht kleine konische Vertiefungen, welche von der Mitte des Cylinders nach beiden Seiten gleich weit abstehen. Ihre Entfernung von einander wurde mit mikroskopischer Genauigkeit gemessen und fand sich wie folgt:

Punkt	4	bis	7	$= 2e_1 = 7{,}9891$
»	3	»	8	$= 2e_2 = 11{,}9851$
»	2	»	9	$= 2e_3 = 15{,}9868$
»	1	»	10	$= 2e_4 = 19{,}9908.$

Diese konischen Vertiefungen dienen zur Aufnahme der stählernen Spitzen der aus Bleiplatten bestehenden Gewichte P, P, von denen eins auf Taf. IV. Fig. 3 abgebildet ist. Das untere so wie auch das obere Ende des Drahts wurde eingeklemmt zwischen die beiden Hälften eines stählernen Klobens f, welche durch eine Schraube s an einander geprefst wurden. Der Kloben f ist mit dem Spiegelhalter $ghik$ verbunden, jedoch so, dafs sich dieser mit dem Cylinder um die Axe des Drahts drehen läfst, ohne

Digitized by Google

daſs der Draht selbst eine Drehung erleidet. An den verticalen Säulen des Spiegelhalters *gk* und *hi* läſst sich der Spiegel *mn* auf und nieder bewegen. Mit dem Spiegelhalter ist der eiserne Cylinder *cc'* unveränderlich durch das Stück *l* verbunden. Der eiserne Cylinder ist bei den Schwingungen von einem runden Holzkasten *AB*, Taf. IV. Fig. 1 eingeschlossen, welcher die Luftströmungen abhalten soll und im Mittelpunkt des oberen Deckels ein Loch hat, um den Draht durchzulassen. Der Spiegel befindet sich unmittelbar über dem kreisrunden Deckel des Kastens, auf welchem ein an der innern Seite getheilter Kreis befestigt ist, dessen Mittelpunkt in die Verlängerung des Drahts fällt und dessen Theilung, durch den Spiegel reflectirt, in einem in einiger Entfernung aufgestellten Fernrohre sichtbar ist. Versetzt man nun den Draht in Schwingungen, so bewegt sich die Scale scheinbar an dem Verticalfaden des Fernrohrs vor- und rückwärts, und man kann nun die Elongationen zu beiden Seiten der Gleichgewichtslage notiren und hieraus die Amplitude der Schwingung berechnen, welche nach den Gesetzen der Spiegelung gleich ist der Hälfte der beobachteten Amplitude. Geht die Verlängerung der Axe des Drahts nicht durch den Mittelpunkt des Kreises, so ist die beobachtete Amplitude mit einem Fehler behaftet, welchen ich so viel als möglich durch genaue Centrirung zu vermeiden suchte. Die Axe des Fernrohrs wurde in eine auf dem Spiegel senkrechte und durch den Mittelpunkt des Kreises gehende Ebene gebracht. Ist nun der Draht in Ruhe, so geht der Verticalfaden des Fernrohrs durch irgend einen Strich der Theilung und es wurden nun die Vorübergänge dieses Theilstriches am Faden des Fernrohrs beobachtet, woraus auf bekannte Weise die Dauer einer Schwingung abgeleitet wurde [1]).

1) Siehe: Resultate des magnetischen Vereins S. 58, Jahrgang 1837, wo Gauſs eine Anleitung zur Bestimmung der Schwingungsdauer eines Magnetstabs giebt.

Als Beispiel führe ich folgende Beobachtung ausführlich an:

I.		II.	
21ʰ 11′ 38″,5	246,0	21ʰ 32′ 59″,0	158,0
51 ,0	245,5	33 11 ,8	158,5
12 3 ,9	243,0	24 ,6	157,0
16 ,7	243,0	37 ,5	157,0
29 ,6	241,0	50 ,3	155,5
42 ,0	241,0	34 3 ,0	156,0
55 ,5	239,0	15 ,7	154,0
13 8 ,0	239,0	28 ,4	154,5
20 ,9	236,5	41 ,5	153,0
33 ,5	236,5	54 ,0	153,1
46 ,5	234,5	35 6 ,8	151,5

III.		IV.	
21ʰ 54′ 18″,7	105,0	22ʰ 15′ 37″,5	72,5
31 ,0	106,0	50 ,0	73,5
44 ,3	104,5	16 2 ,8	72,0
57 ,0	105,0	15 ,6	73,0
55 10 ,0	103,5	28 ,5	71,3
22 ,5	104,5	40 ,9	72,3
35 ,5	103,0	54 ,0	71,0
48 ,0	103,9	17 6 ,8	72,0
56 1 ,0	102,0	19 ,7	70,3
14 ,0	103,0	33 ,0	71,3
26 ,5	101,1	45 ,0	70,0

V.	
22ʰ 36′ 55″,5	51,1
37 8 ,0	52,2
21 ,0	51,0
33 ,5	52,0
46 ,5	50,7
59 ,0	52,0
38 12 ,0	50,2
24 ,6	51,5
37 ,5	50,0
50 ,0	51,0
39 3 ,0	49,8

Diese Beobachtungen bestehen aus 4 Sätzen; in jedem enthält die erste Columne die Zeiten der Vorübergänge

Digitized by Google

des Theilstrichs 0 (die Theilung des Kreises nahm vom 0 Strich nach beiden Seiten zu) am Faden des Fernrohrs, die zweite die Elongationspunkte, immer mit der Elongation beginnend, welche dem ersten Vorübergange folgte. Hieraus erhält man:

I.

0	21ʰ11′44″,8	491,5
1	57 ,5	488,5
2	12 10 ,3	486,0
3	23 ,2	484,0
4	35 ,8	482,0
5	48 ,8	480,0
6	13 1 ,8	478,0
7	14 ,5	475,5
8	27 ,2	473,0
9	40 ,0	471,0

II.

100	21ʰ33′ 5″,4	316,5
101	18 ,2	315,5
102	31 ,1	314,0
103	43 ,9	312,5
104	56 ,7	311,5
105	34 9 ,4	310,0
106	22 ,1	308,5
107	35 ,0	307,5
108	47 ,8	306,1
109	35 0 ,4	304,6

III.

200	21ʰ54′24″,9	211,0
201	37 ,7	210,5
202	50 ,7	209,5
203	55 3 ,5	208,5
204	16 ,3	208,0
205	29 ,0	207,5
206	41 ,8	206,9
207	54 ,5	205,9
208	56 7 ,5	205,0
209	20 ,3	204,1

IV.

300	22ʰ15′43″,8	146,0
301	56 ,4	145,5
302	16 9 ,2	145,0
303	22 ,1	144,3
304	34 ,7	143,6
305	47 ,5	143,3
306	17 0 ,4	143,0
307	13 ,3	142,3
308	26 ,4	141,6
309	39 ,0	141,3

V.

400	22ʰ37′ 1″,8	103,3
401	14 ,5	103,2
402	27 ,3	103,0
403	40 ,0	102,7
404	52 ,8	102,7
405	38 5 ,5	102,2
406	18 ,3	101,7
407	31 ,1	101,5
408	43 ,8	101,0
409	56 ,5	100,8

Digitized by Google

Hier ergeben sich in I. die Ziffern der ersten Columne von selbst; für die anderen Sätze werden sie so gefunden: aus 0 und 9 erhält man den genäherten Werth der Schwingungsdauer = 12″,80. Das Zeitintervall von 0 bis 100 beträgt 21′ 20″,6 = 1280″,6. Die Zahl durch 12,80 dividirt giebt 100. Es sind also zwischen dem ersten und zweiten Satz 100 Schwingungen verflossen. Die zweite Columne eines jeden Satzes enthält die Elongationszeiten, d. h. die Mittel aus den beobachteten Durchgangszeiten. Die dritte Columne enthält die beobachteten Amplituden.

Die Schwingungsdauer läſst sich nun genauer herleiten. Die Dauer von hundert Schwingungen findet sich aus:

0 — 100	21′ 20″,6
1 — 101	20 ,7
2 — 102	20 ,8
3 — 103	20 ,7
4 — 104	20 ,9
5 — 105	20 ,6
6 — 106	20 ,3
7 — 107	20 ,5
8 — 108	20 ,6
9 — 109	20 ,4

im Mittel 21′ 20″,61 und daher die Dauer einer Schwingung = 12″,8061. Ebenso erhält man zwischen den andern Sätzen der Schwingungsdauer: 12″,7962; 12″,7866; 12″,7788.

Um für die so eben erhaltenen Zahlen die zugehörigen Schwingungsbögen zu berechnen, gehe ich von der Hypothese aus, daſs die Schwingungsbögen von einem Satze zum anderen in geometrischer Progression abnehmen. Sie werden auf folgende Weise gefunden: die arithmetischen Mittel der beobachteten Amplituden für die fünf Sätze sind 480,95; 310,67; 207,69; 143,59; 102,21. Bildet man auf einander folgend aus je zwei dieser Zahlen die geometrischen Mittel und multiplicirt dieselben mit 0,111524 (ein Theil der Kreistheilung war = 0°,223048), so erhält man

Digitized by Google

die gesuchten Schwingungsbögen in Graden: 43°,109; 28°,329; 19°,259; 13°,511.

Wie man sieht, nimmt die Schwingungsdauer mit der Abnahme der Schwingungsbögen zugleich ab, und es bleibt nun noch übrig die Zeit einer unendlich kleinen Schwingung zu finden, d. h. den Gränzwerth, welchem sich die Dauer einer Schwingung nähert, während die Schwingungsbögen sich dem Verschwinden unendlich nähern. Kupffer hat gezeigt, daſs diese Abnahme der Quadratwurzel aus der Amplitude proportional ist, und dieses Gesetz findet auch in den folgenden Beobachtungen seine Bestätigung. Nennt man daher die auf unendlich kleine Bögen reducirte Dauer einer Schwingung t und bezeichnet mit α eine aus der Beobachtung herzuleitende Constante, so hat man zur Berechnung von t und α folgende 4 Gleichungen:

$$t + \alpha \sqrt{43,109} = 12,8061$$
$$t + \alpha \sqrt{28,329} = 12,7962$$
$$t + \alpha \sqrt{19,259} = 12,7866$$
$$t + \alpha \sqrt{13,511} = 12,7788.$$

Hieraus ergiebt sich nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$\alpha = 0,0094384; \quad t = 12,7448.$$

Die Differenzen der hiermit berechneten und der beobachteten Werthe der Schwingungsdauer sind:

$$+ 0,0007; \quad - 0,0012; \quad - 0,0004; \quad + 0,0007.$$

Auf die Schwingungsdauer hat die Temperatur des Drahts einen bedeutenden Einfluſs, denn bei Zunahme der Temperatur findet auch eine Zunahme der Schwingungsdauer statt. Es wurde daher unmittelbar vor und nach jeder Beobachtungsreihe ein nahe der Mitte des Drahts angebrachtes Thermometer M abgelesen und das Mittel aus beiden Ablesungen als die der beobachteten Schwingungsdauer zugehörige Temperatur betrachtet. Ist nun t' die auf die Normaltemperatur + 13°,3 R. reducirte Schwingungsdauer und T die beobachtete Temperatur, so hat man

$$t' = t[1 - \beta(T - 13,3)]$$

wo β eine aus Beobachtungen bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmende Constante ist. Für den Eisendraht fand sich, wie aus den nachfolgenden Beobachtungen ersichtlich, $\beta = 0{,}0002501$ und hiermit für das angeführte Beispiel wo $T = +9^\circ{,}3$ ist $t' = 12''{,}7575$.

Bei den Schwingungen hat noch der Widerstand der Luft einen Einfluſs auf die Schwingungsdauer; derselbe ist wohl auf die Endresultate dieser Beobachtungen nicht bedeutend und überdieſs nicht leicht zu bestimmen. Aus diesen Gründen habe ich den Widerstand der Luft unberücksichtigt gelassen.

Zur Bestimmung des Trägheitsmomentes des eisernen Cylinders nebst der Spiegelvorrichtung habe ich das von Gauſs bei Magnetstäben angewandte Verfahren [1]) eingeschlagen. Ist nämlich k das Trägheitsmoment des eisernen Cylinders nebst der Spingelvorrichtung, p die Masse jeder der in gleichen Entfernungen von der Mitte des Cylinders angehängten gleichen Gewichte nebst ihren Bügeln, $2e$ ihre Entfernung von einander und C das Trägheitsmoment der Gewichte in Bezug auf eine verticale Axe, welche durch die Stahlspitzen und die Schwerpunkte der Gewichte gezogen wird, so hat man:

$$gnt_1'^2 = \pi^2(k + C + 2pe_1^2)$$
$$gnt_2'^2 = \pi^2(k + C + 2pe_2^2)$$
$$gnt_3'^2 = \pi^2(k + C + 2pe_3^2)$$
$$gnt_4'^2 = \pi^2(k + C + 2pe_4^2)$$

und für die Schwingungen ohne Belastung:

$$gnt'^2 = \pi^2 k.$$

Diesen Gleichungen kann man noch eine andere Gestalt geben. Setzt man nämlich $x = \frac{ng}{2p\pi^2}$ und $y = \frac{k+C}{2p}$, so erhält man:

$$\left.\begin{aligned} xt_1'^2 &= e_1^2 + y \\ xt_2'^2 &= e_2^2 + y \\ xt_3'^2 &= e_3^2 + y \\ xt_4'^2 &= e_4^2 + y \end{aligned}\right\} (\Delta)$$

woraus sich x und y findet und sodann $k + C$ und n.

1) Siehe Gauſs, *Intensitas vis magneticae etc. p.* 20 *sqq.*

Digitized by Google

Bei der Auflösung dieser Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate kann hier noch folgendermaſsen verfahren werden:

Man berechne erst die Werthe für x und y aus der ersten und letzten der Gleichungen (Δ); diese berechneten Werthe seyen x' und y', und setze nun $x = x' + dx$; $y = y' + dy$. Durch Differentiation der Gleichung

$$t^2 = \frac{e^2 + y}{x}$$

erhält man aber auch:

$$dt = \frac{y}{2tx} - \frac{(e^2 + y)}{2tx^2} \cdot dx.$$

In diese letzte Gleichung setzt man für x und y die berechneten Werthe x' und y'; die Werthe von t in ihr werden besonders aus den genäherten Werthen x' und y' berechnet; dt ist der Unterschied der beobachteten und berechneten Werthe von t, für die erste und letzte Gleichung also 0. Auf diese Weise hat man eben so viel Gleichungen als Beobachtungen und findet die Verbesserungen dx und dy.

Die Länge des Drahtes wurde mit Hülfe eines Maaſsstabes von festem Holze gemessen, dessen Enden durch die beiden Hälften eines stählernen Cylinders, der nach der Länge der Axe durchschnitten war, gebildet wurden. Die Grundfläche dieses Cylinders ist sphärisch; an dem einen Ende des Maaſsstabes ist der Cylinder unveränderlich befestigt, an dem anderen Ende läſst er sich durch eine Schraube an einer Theilung, die mit einem Nonius versehen ist, verschieben. Legt man nun das bewegliche Ende dieses Maaſsstabes an die untere Fläche des Klobens, in welchen das obere Ende des Drahts gepreſst ist, und bewegt den untern Halbcylinder mittelst der Schraube so lange, bis seine untere Fläche die obere des Klobens, in welchen das untere Ende des Drahts eingeschraubt ist, berührt, so erhält man durch Ablesung an der Theilung die Länge des Drahts.

Der Halbmesser r des Drahts wurde nach Beendigung

Digitized by Google

der Schwingungsbeobachtungen durch Abwägung in destillirtem Wasser bestimmt, ganz auf dieselbe Weise wie dieſs in dem angeführten Werke *Recherches experimentales etc.* beschrieben ist und nach der daselbst angegebenen Formel berechnet, welche ich der Vollständigkeit wegen hersetze:

$$r = \sqrt{\frac{0,99985\,q + p\,\beta}{\gamma \pi l}}$$

wo β für Messing und Eisen $= 0,00015$, für Silber aber $= 0,00012$ ist, q das Gewicht einer dem Volumen des Drahts gleichkommenden Wassermasse, p das Gewicht des Drahts in der Luft, γ das Gewicht eines Kubikzolls Wasser bei der Temperatur, die das Wasser während der Abwägung hatte, und l die Länge des Drahts bedeutet. Zu gleicher Zeit erhält man das Gewicht eines Kubikzolls des zu untersuchenden Metalls durch den Ausdruck $p\gamma : (0,99985\,q + p\,\beta)$, wo γ in Pfunden ausgedrückt ist.

So fand sich für den angewandten Eisendraht: sein Gewicht in der Luft $p = 233,95$ Doli, $q = 30,18$ Doli, $l =$ 52,5929 Zoll, woraus $r = 0,02228715$ Zoll, das Gewicht eines Kubikzolls Eisen $= 0,309310$ Pfund und daher das specifische Gewicht $= 7,7386$. Eine directe Messung des Radius mit einem Mikroskope gab für das eine Ende des Drahtes $r = 0,0219926$ Zoll.

Für den Messingdraht war $p = 459,8$; $q = 54,8$; $l =$ 52,5758, folglich $r = 0,0300441$; das Gewicht eines Kubikzolls Messing $= 0,334635$; specifisches Gewicht $= 8,3722$.

Beim Silberdraht ergab die Abwägung $p = 720,8$; $q =$ 70,2; $l = 52,6058$, woraus $r = 0,0339725$, Gewicht eines Kubikzolls Silber $= 0,410048$; spec. Gew. $= 10,2567$.

Ich lasse nun die Beobachtungen der Schwingungsdauer folgen:

I. Eisendraht.

No. 1. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. Länge des Draht bei $+ 13^{\circ},3$ R. $= 52,5929$. Halbmesser $= 0,02228715$. Entfernung der Gewichte von der Axe des Drahts $= 9,9954$ Zoll. Temperatur $= + 5^{\circ},9$ R.

Digitized by Google

Beobachtete Dauer einer Schwingung.	Schwingungsbogen.	Ber. — Beob.
26″,5154	57°,558	— 0,0007
26 ,5004	45 ,926	— 0,0010
26 ,4820	37 ,141	+ 0,0046
26 ,4786	30 ,408	— 0,0029

$\alpha = 0{,}018834$; $t = 26'',3718$.

No. 2. Dieselbe Belastung in derselben Entfernung. Temperatur $= + 5^\circ\ 6$ R.

26″,4936	48°,720	+ 0,0007
26 ,4824	38 ,922	— 0,0005
26 ,4730	31 ,485	— 0,0015
26 ,4614	25 ,832	+ 0,0013

$\alpha = 0{,}016677$; $t = 26{,}3779$.

No. 3. Dieselbe Belastung in derselben Entfernung. Temperatur $= + 11^\circ{,}2$ R.

26″,5264	61°,603	+ 0,0012
26 ,5160	47 ,819	— 0,0023
26 ,5008	37 ,443	+ 0,0011
26 ,4916	29 ,530	+ 0,0002

$\alpha = 0{,}014826$; $t = 26{,}4112$

Zur Bestimmung von β hat man aus No. 1, No. 2 und No. 3 folgende Gleichungen:

$$t' = 26{,}3718\ (1 + 7{,}4\beta)$$
$$t' = 26{,}3779\ (1 + 7{,}7\beta)$$
$$t' = 26{,}4112\ (1 + 2{,}1\beta)$$

woraus $t' = 26'',4249$, $\beta = 0{,}0002501$; α im Mittel $= 0{,}01678$. Mit diesem Werthe von β und t' ergiebt sich:

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
26″,3760	26,3718	+ 0,0042
26 ,3740	26,3779	— 0,0039
26 ,4110	26,4112	— 0,0002

und man hat zur Reduction der Schwingungsdauer auf die Temperatur $13\frac{1}{3}{}^\circ$ den Ausdruck

$$t' = t[1 + (T - 13{,}3) \,.\, 0{,}0002501].$$

No. 4. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Zoll von der Axe des Drahts. Temperatur $=+6^\circ,5$ R.

16",8896	36°,804	+ 0,0006
16 ,8842	29 ,946	— 0,0004
16 ,8790	24 ,539	— 0,0008
16 ,8724	20 ,258	+ 0,0009

$\alpha=0{,}010813$ $t=16'',8246$; $t'=16'',8532$.

No. 5. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Temperatur $=+10^\circ,5$ R.

12",4860	51°,084	+ 0,0006
12 ,4818	41 ,218	— 0,0001
12 ,4798	33 ,650	— 0,0023
12 ,4724	27 ,722	+ 0,0015

$\alpha=0{,}006731$; $t=12'',4385$; $t'=12'',4472$.

No. 6. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite, in der Entfernung 3,9946 Zoll von der Axe des Drahts. Temperatur $=+11^\circ,6$ R.

9",9096	46°,935	— 0,0001
9 ,9054	37 ,656	+ 0,0002
9 ,9030	30 ,585	— 0,0006
9 ,8986	25 ,124	+ 0,0010
9 ,8968	20 ,849	+ 0,0004
9 ,8958	17 ,465	— 0,0007

$\alpha=0{,}005367$; $t=9'',8727$; $t'=9'',8769$.

No. 7. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Temperatur $=+9^\circ\,3$ R.

12",8061	43°,109	+ 0,0007
12 ,7962	28 ,329	— 0,0012
12 ,7866	19 ,259	— 0,0004
12 ,7788	13 ,511	+ 0,0007

$\alpha=0{,}0094384$; $t=12'',7418$; $t'=12'',7575$.

No. 8. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934. Temperatur $=+12^\circ,1$ R.

16",0266	52°,806	— 0,0003
16 ,0102	33 ,520	+ 0,0006
15 ,9995	22 ,011	— 0,0002
15 ,9907	14 ,885	— 0,0002

$\alpha=0{,}010480$; $t=15'',9501$; $t'=15'',9549$.

Digitized by Google

No. 9. Dieselbe Belastung in der Entfernung 9,9954. Temperatur = + 11°,8 R.

19",3869	49°,778	+ 0,0002
19 ,3728	34 ,909	— 0,0009
19 ,3586	25 ,117	+ 0,0014
19 ,3513	18 ,503	— 0,0007

$\alpha = 0{,}013231$; $t = 19'',2937$; $t' = 19'',3009$.

No. 10. Schwingungen ohne Belastung. Temperatur = + 13°,3 R.

6",1757	19°,721	+ 0,0004
6 ,1728	13 ,291	— 0,0007
6 ,1694	9 ,274	— 0,0002
6 ,1664	6 ,636	+ 0,0004

$\alpha = 0{,}004977$; $t = 6'',1540$; $t' = 6'',1540$.

II. Messingdraht.

No. 11. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. Länge des Drahts bei + 13⅓° R. = 52,5758 Zoll. Radius = 0,0300441 Zoll. Entfernung der Gewichte von der Axe des Drahts = 9,9954 Zoll. Temperatur = + 15°,0 R.

Schwingungs-dauer.	Amplitude.	Ber. — Beob.
21",6148	49°,704	+ 0,0018
21 ,6088	40 ,243	— 0,0018
21 ,6006	32 ,671	— 0,0022
21 ,5888	26 ,738	+ 0,0022

$\alpha = 0{,}013584$; $t = 21'',5208$; $t' = 21'',5115$ [1]).

No. 12. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934. Temperatur = + 13°,5 R.

17",6108	39°,912	+ 0,0018
17 ,6062	33 ,211	— 0,0007
17 ,6020	27 ,717	— 0,0029
17 ,5938	23 ,274	— 0,0003
17 ,5870	19 ,728	+ 0,0016
17 ,5840	16 ,886	+ 0,0003

$\alpha = 0{,}012806$; $t = 17'',5317$; $t' = 17'',5306$.

1) Siehe S. 367.

Digitized by Google

No. 13. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926. Temperatur = + 14° 1 R.

13",7792	52°,490	+ 0,0014
13 ,7728	42 ,672	— 0,0005
13 ,7662	34 ,883	— 0,0012
13 ,7584	28 ,774	+ 0,0003
13 ,7574	23 ,979	— 0,0041
13 ,7446	20 ,200	+ 0,0040

α = 0,011654; t = 13",6962; t' = 13",6935.

No. 14. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9646. Temperatur = + 15° 6 R.

10",1730	42°,414	— 0,0004
10 ,1664	34 ,768	+ 0,0014
10 ,1638	28 ,708	— 0,0003
10 ,1602	23 ,907	— 0,0004
10 ,1580	20 ,111	— 0,0014
10 ,1544	17 ,078	— 0,0006
10 ,1498	14 ,651	+ 0,0016

α = 0,0079115; t = 10",1211; t' = 10",1152.

No. 15. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite in der Entfernung 9,9954 Zoll. Temperatur = + 16°,0 R.

15",7848	39°,169	+ 0,0006
15 ,7782	32 ,025	— 0,0012
15 ,7698	26 ,427	— 0,0002
15 ,7622	22 ,019	+ 0,0011
15 ,7584	18 ,548	— 0,0005
15 ,7532	15 ,823	0,0000

α = 0,014130; t = 15",6970; t' = 15",6903.

No. 16. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934. Temperatur = + 14°,7 R.

13",0436	47°,666	+ 0,0020
13 ,0394	38 ,616	— 0,0012
13 ,0346	31 ,515	— 0,0028
13 ,0262	25 ,985	+ 0,0001
13 ,0190	21 ,676	+ 0,0026
13 ,0180	18 ,274	— 0,0005

α = 0,010672; t = 12",9719; t' = 12",9673.

Digitized by Google

No. 17. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926, Temperatur = + 15°,9 R.

10",4428	45°,800	— 0,0007
10 ,4330	37 ,080	+ 0,0025
10 ,4312	30 ,283	— 0,0013
10 ,4266	24 ,969	— 0,0016
10 ,4210	20 ,797	— 0,0002
10 ,4160	17 ,520	+ 0,0012

α = 0,0096462; t = 10",3768; t' = 10",3700.

No. 18. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Zoll. Temperatur = + 15°,2 R.

8",0694	40°,832	+ 0,0002
8 ,0605	26 ,755	+ 0,0003
8 ,0559	18 ,529	— 0,0015
8 ,0486	13 ,458	+ 0,0011

α = 0,0074293; t = 8",0224; t' = 8",01855.

No. 19. Schwingungen ohne Belastung. Temperatur = + 15°,4 R.

5",1234	23°,894	+ 0,0002
5 ,1201	16 ,560	— 0,0007
5 ,1154	12 ,067	+ 0,0010
5 ,1145	9 ,156	— 0,0004

α = 0,005093; t = 5",0987.

No. 20. Ohne Belastung. Temperatur = + 14°,2 R.

5",1201	29°,928	+ 0,0004
5 ,1171	20 ,583	— 0,0005
5 ,1145	14 ,809	— 0,0009
5 ,1106	11 ,137	+ 0,0008

α = 0,0043218; t = 5",0970.

No. 21. Ohne Belastung. Temperatur = + 19°,0 R.

5",1294	34°,588	+ 0,0001
5 ,1243	22 ,895	+ 0,0003
5 ,1218	15 ,766	— 0,0009
5 ,1177	11 ,383	+ 0,0006

α = 0,0044701; t = 5",1032.

Digitized by Google

Aus No. 19, No. 20 und No. 21 ergiebt sich $\beta =$ 0,000251586; $t' = 5'',0959$, mithin

$$t' = t[1 - (T - 13,3)0,000251586].$$

III. Silberdraht.

No. 22. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. Länge des Drahts = 52,6058 Zoll. Radius = 0,0339725 Zoll. Entfernung der Gewichte von der Axe des Drahts = 9,9954 Zoll. Temperatur = + 12° 8 R.

Schwingungsdauer.	Amplitude.	Ber. — Beob.
19″,6398	45°,481	0,0000
19 ,6374	40 ,484	0,0000
19 ,6318	36 ,178	+ 0,0005
19 ,6336	32 ,392	— 0,0003

$\alpha = 0,0061056$; $t = 19'',5986$; $t' = 19'',6007$ [1]).

No. 23. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934 Zoll. Temparatur = + 11°,4 R.

16″,0175	49°,619	0,0000
16 ,0159	40 ,874	— 0,0001
16 ,0143	33 ,675	— 0,0001
16 ,0127	27 ,667	0,0000

$\alpha = 0,0026864$; $t = 15'',9986$; $t' = 16'',0051$.

No. 24. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Zoll. Temperatur = + 12°,3 R.

12″,5194	45°,748	+ 0,0003
12 ,5190	37 ,617	— 0,0006
12 ,5170	30 ,848	+ 0,0002
12 ,5160	25 ,179	+ 0,0001.

$\alpha = 0,0020862$; $t = 12'',5056$; $t' = 12'',5083$.

No. 25. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Zoll. Temperatur = + 12°,5 R.

9″,2452	37°,810	+ 0,0003
9 ,2449	29 ,759	— 0,0006
9 ,2429	23 ,359	+ 0,0004
9 ,2424	18 ,238	0,0000

$\alpha = 0,0016556$; $t = 9'',2353$; $t' = 9'',2369$.

1) Siehe S. 369.

Digitized by Google

No. 26. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite in der Entfernung 9,9954 Zoll. Temperatur = + 12°,1 R.

14",4493	39°,990	— 0,0001
14 ,4474	32 ,393	+ 0,0001
14 ,4461	26 ,277	— 0,0001

$\alpha = 0{,}0026771$; $t = 14'',4323$; $t' = 14'',4360$.

No. 27. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934 Zoll. Temperatur = + 9°,9 R.

11",9346	43°,542	— 0,0005
11 ,9311	35 ,275	+ 0,0006
11 ,9290	28 ,503	+ 0,0005
11 ,9281	22 ,963	— 0,0005

$\alpha = 0{,}0036217$; $t = 11'',9102$; $t' = 11'',9189$.

No. 28. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Zoll. Temperatur = + 11°,3 R.

9",5525	46°,422	— 0,0002
9 ,5498	35 ,710	0,0000
9 ,5471	27 ,461	+ 0,0006
9 ,5463	20 ,990	— 0,0005

$\alpha = 0{,}0028845$; $t = 9'',5326$; $t' = 9'',5367$.

No. 29. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Zoll. Temperatur = + 11°,4 R.

7",3826	35°,123	+ 0,0005
7 ,3814	24 ,655	— 0,0007
7 ,3790	17 ,194	— 0,0004
7 ,3763	12 ,029	+ 0,0006

$\alpha = 0{,}0025523$; $t = 7'',3680$.

No. 30. Dieselbe Belastung in derselben Entfernung. Temperatur = + 9°,7 R.

7",3801	34°,905	+ 0,0008
7 ,3798	24 ,791	— 0,0014
7 ,3765	17 ,597	— 0,0001
7 ,3741	12 ,561	+ 0,0005

$\alpha = 0{,}0026378$; $t = 7'',3653$.

Aus den beiden letzten Nummern hat man zur Bestimmung des Einflufses der Temperatur

$t' =$

Digitized by Google

$$t' = 7{,}3653(1+3{,}6\beta)$$
$$t' = 7{,}3680(1+1{,}9\beta)$$

woraus $t' = 7'',3710$; $\beta = 0{,}00021573$ und man erhält zur Reduction auf die Temperatur $13\frac{1}{3}°$ den Ausdruck

$$t' = t[1-(T-13{,}3)0{,}00021573].$$

Ich stelle nun die den vorhergehenden Beobachtungen entnommenen Werthe zusammen:

I. Eisendraht.

A. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. $2p = 22{,}3771$.

Schwingungs-dauer.	Entfernung der Belastung von der Axe des Drahts *e*.	*α*.
26'',4249	9,9954	0,01678
. . . . .	7,9934	. . . . .
16 ,8532	5,9926	0,010813
12 ,4472	3,9946	0,006731

Hieraus erhält man nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Anwendung der Gleichung $t^2 x = y + e^2$

$$x = 0{,}154511;\ y = 7{,}97971 \text{ und hiermit}$$

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
26'',4244	26'',4249	— 0,0005
16 ,8542	16 ,8532	+ 0,0010
12 ,4466	12 ,4472	— 0,0006.

Setzt man nun $g = 386{,}462$ [1]), so erhält man aus $k + C = 2py$ und $n = 2px\pi^2 : g$

$$k + C = 178{,}563;\ n = 0{,}0882992.$$

B. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite. $2p = 11{,}3203$.

1) Den Fallraum der ersten Sekunde habe ich nach dem Ausdrucke $193{,}033088 - 0{,}5006307 . \cos 2b$ berechnet, wo b die Polhöhe von Mitau $= 56° 39',1$ bedeutet.

Digitized by Google

t'.	e.	α.
19″,3009	9,9954	0,013251
15 ,9549	7,9934	0,010480
12 ,7575	5,9926	0,009438
9 ,8769	3,9946	0,005367,

woraus auf dieselbe Weise:

$$x = 0{,}305295;\; y = 13{,}8114.$$

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
19″,3000	19″,3009	— 0,0009
15 ,9539	15 ,9549	— 0,0010
12 ,7619	12 ,7575	+ 0,0044
9 ,8745	9 ,8769	— 0,0024

$$k + C = 156{,}349;\; n = 0{,}0882614.$$

II. Messingdraht.

A. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. $2p = 22{,}3771$.

t'.	e.	α.
21″,5115	9,9954	0,013584
17 ,5306	7,9934	0,012806
13 ,6935	5,9926	0,011654
10 ,1152	3,9946	0,007911.

$$x = 0{,}233152;\; y = 7{,}8615.$$

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
21″,4995	21″,5115	— 0,0120
17 ,5432	17 ,5306	+ 0,0126
13 ,7019	13 ,6935	+ 0,0084
10 ,1073	10 ,1152	— 0,0079

$$k + C = 175{,}918;\; n = 0{,}133240.$$

B. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite. $2p = 11{,}3203$.

t'.	e.	α.
15″,6903	9,9954	0,014130
12 ,9673	7,9934	0,010672
10 ,3700	5,9926	0,009646
8 ,0185	3,9946	0,007429

$$x = 0{,}461554;\; y = 13{,}7198.$$

Digitized by Google

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
15″,6903	15″,6903	0,0000
12 ,9676	12 ,9673	+ 0,0003
10 ,3697	10 ,3700	— 0,0003
8 ,0185	8 ,0185	0,0000

$k + C = 155{,}3125$; $n = 0{,}133436$.

III. Silberdraht.

A. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. $2p = 22{,}3771$.

t′.	*e*.	*α*.
19″,6007	9,9954	0,0061056
16 ,0051	7,9934	0,0026864
12 ,5083	5,9926	0,0020862
9 ,2369	3,9946	0,0016556

$x = 0{,}280821$; $y = 8{,}01225$.

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
19″,6036	19″,6007	+ 0,0029
16 ,0018	16 ,0051	— 0,0033
12 ,5064	12 ,5083	— 0,0019
9 ,2387	9 ,2369	+ 0,0018

$k + C = 179{,}291$; $n = 0{,}160482$.

B. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite. $2p = 11{,}3203$.

t′.	*e*.	*α*.
14″,4360	9″,9954	0,0026771
11 ,9189	7 ,9934	0,0036217
9 ,5367	5 ,9926	0,0028845
7 ,3710	3 ,9946	0,0025950

$x = 0{,}545296$; $y = 13{,}6636$.

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
14″,4318	14″,4360	— 0,0042
11 ,9260	11 ,9189	+ 0,0071
9 ,5349	9 ,5367	— 0,0018
7 ,3702	7 ,3710	— 0,0008

$k + C = 154{,}676$; $n = 0{,}157646$.

Digitized by Google

Aus dem Vorhergehenden hat man nun:

Metall.	Belastung.	*n*.	*l*.	*r*.
Eisendraht	22,3771	0,0882992	52,5929	0,02228715.
	11,3203	0,0882614		
Messingdraht	22,3771	0,133240	52,5758	0,0300441.
	11,3203	0,133436		
Silberdraht	22,3771	0,160482	52,6058	0,0339725.
	11,3203	0,157646		

Die Längen der Drähte wurden bei der gröſsten Belastung gemessen, und bedürfen bei geringerer Belastung einer Correction $=\frac{l\delta}{r^2}$ für jedes Pfund. Leitet man daher aus Obigem einen genäherten Werth für δ her, so ergiebt sich diese Verbesserung leicht. So fand sich:

Metall.	Belastung.	Länge.
Eisendraht	22,3771	52,5929
	11,3203	52,5805
	0	52,5681
Messingdraht	22,3771	52,5758
	11,3203	52,5609
	0	52,5460
Silberdraht	22,3771	52,6058
	11,3203	52,5900.

Der Einfluſs der verschiedenen Belastung auf den Halbmesser des Drahts ist zu unbedeutend, um ihn in Rechnung zu bringen.

Nach den Formeln $\mu=n.\frac{l}{r^4}$ und $\delta=\frac{1}{5\mu}$ erhält man jetzt:

Metall.	Belastung.	log μ.	δ.	Mittel.
Eisendraht	22,3771	7,274664	0,0000000106259	106294
	11,3203	7,274376	106329	
Messingdraht	22,3771	6,934382	0,0000000232621	232483
	11,3203	6,934897	232345	
Silberdraht	22,3771	6,801952	0,0000000315557	318439
	11,3203	6,794078	321321	

Digitized by Google

Aus den Mittelwerthen von δ ergiebt sich für den Eisendraht $\log\mu = 7,274522$, für den Messingdraht $\log\mu = 6,934639$. Berechnet man nun hiermit das Trägheitsmoment $k = \frac{r^4 \mu t^2 g}{l \pi^2}$, wo für t die Schwingungsdauer der Beobachtungen ohne Belastung zu nehmen ist, so erhält man:

$$k = 130,961$$
$$k = 135,640.$$

Im Mittel ist $k = 133,301$. Mit diesem Werthe von k ergiebt sich aus den Schwingungsbeobachtungen ohne Belastung für den

Eisendraht	$\log\mu = 7,282214$	$\delta = 0,0000000104428$
Messingdraht	$\log\mu = 6,927084$	$\delta = 0,0000000236562.$

Zum Schluſs stelle ich sämmtliche Resultate wie folgt zusammen:

Metall.	Belastung.	δ.	Mittel.
Eisendraht	22,3771	0,0000000106259	
	11,3203	106329	105672
	0	104428	
Messingdraht	22,3771	0,0000000232621	
	11,3203	232345	233843
	0	236562	
Silberdraht	22,3771	0,0000000315557	318439.
	11,3203	321321	

Mitau, am 15. October 1850.

III. *Ueber die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes in Telegraphen-Drähten;* *von B. A. Gould, jun.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. *Americ. Journ. of Science Ser. II. Vol. XI*, wo dieser Aufsatz, von dem hier nur die Einleitung fortgelassen ist, in Form eines Berichts an Hrn. Bache gegeben wird.)

Der sinnreiche Versuch des Prof. Wheatstone i. J. 1834 schien die bis dahin allgemein herrschende Meinung von der Unermeſslichkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in metallischen Leitern, verglichen mit allen übrigen uns bekannten Geschwindigkeiten, — mit Ausnahme der des Lichts, — so zu bestätigen, daſs der Glaube, wir seyen nicht fähig sie zu bestimmen, gerechtfertigt ward. Eines seiner Resultate, wie er es angab, lautete dahin, daſs die Geschwindigkeit der Elektricität in den angewandten Kupferdrähten zwar noch wahrnehmbar sey, aber die des Lichts durch den planetarischen Raum übertreffe, daſs sie nicht geringer seyn könne als 288000 engl. Meilen in der Sekunde, während das Licht in derselben Zeit ungefähr 196000 durchläuft [1]).

Die telegraphischen Beobachtungen, welche unter unmittelbarer Direction des Hrn. Walker von der Küsten-Vermessung der Vereinigten Staaten zur Bestimmung der Längenunterschiede entfernter Stationen angestellt wurden, führten zu dem unerwarteten Resultat, daſs, um volle Uebereinstimmung in die verschiedenen Beobachtungen zu bringen, eine kleine, von den relativen Abständen der Telegraphen-Stationen abhängige Berichtigung angebracht werden müsse. Für diese Erscheinung bot sich keine andere Erklärung dar als die von Hrn. Walker aufgestellte [2]) und von Hrn. Bache im März 1849 der *American Philosophical Society* mitgetheilte Hypothese, daſs die Zeit der Fortpflanzung der Signäle zwischen entlegenen Stationen viel

1) *Philosoph. Transactions* 1834 *p.* 583. (Ann. Bd. 34, S. 464.)

2) *Proceed. Americ. Phil. Soc. V. p.* 76. Astron. Nachr. XXIX. 54.

bedeutender, und folglich die Geschwindigkeit viel geringer sey als man bis dahin geglaubt habe.

Seit Hrn. Walker's Resultate veröffentlicht wurden, haben viele Astronomen und Physiker in Europa und Amerika, namentlich Mitchel, Fizeau und Steinheil, ihre Aufmerksamkeit auf den Gegenstand gerichtet. Derselbe gehört zwar mehr zum Bereich der Physik als zur Astronomie, allein seine specielle Beziehung zum Problem der Längenbestimmung und die Art, wie er sich den Astronomen zur Betrachtung aufdrängte, legen Diesen die Verpflichtung auf, ihn in volle Erwägung zu ziehen.

Als ich im verwichenen Februar in Washington war, folgte ich mit Vergnügen der Einladung des Hrn. Walker, Theil zu nehmen an einem in sehr grofsen Maafsstabe auszuführenden Versuch, mit dessen Vorbereitung er zum Behufe der Küstenvermessung lange beschäftigt gewesen, da er von demselben Resultate erwartete, welche die Streitfrage erledigen würden. Die *Seaton-Station* der Vermessung in *Washington*, nördlich vom Capitol, und die Stadt *St. Louis* wurden am 4. Februar zu Einem colossalen galvanischen Kreise verbunden, und ohne den Schaden, den ein Sturm am selbigen Tage anrichtete, wäre der Kreis selbst bis zu dem etwa 1500 engl. Meilen entfernten *Dubuque*, im Gebiete von *Iowa*, ausgedehnt worden.

Die Drähte dieser, und wie ich glaube, (mit einer einzigen Ausnahme) aller der zu Geschwindigkeits-Versuchen benutzten Telegraphenlinien sind von Eisen, von der im Handel als No. 9 bekannten Stärke, etwa drei Millimeter dick. Wir haben allen Grund zu glauben, dafs die Geschwindigkeit, mit der die Elektricität fortgeführt wird, verschieden ist nach dem Leitvermögen des Mediums [1]), und daher muthmafslich im Kupfer gröfser als im Eisen. Wheatstone benutzte bei seinem Versuche Kupferdrähte von $1^{mm},7$ Durchmesser. Nun ist das Leitvermögen des Eisens nach Lenz [2]), Riefs [3]),

1) Faraday, *Researches*, *I. p.* 423. (Ann. Bd. 47, S. 41.)
2) Pogg. Ann. Bd. XLV,, S. 109.
3) Ibid. Bd. XLV., S. 20.

Digitized by Google

und Pouillet[1]), die es durch verschiedene Methoden bestimmten, nur 0,18 von dem des Kupfers bei 0° C. Und wenn wir diesen Umstand in Erwägung ziehen, scheint der Glaube hinreichend begründet, daſs die Resultate von Walker und Wheatstone nicht unverträglich mit einander seyen, selbst abgesehen davon, daſs der Eine den galvanischen Strom, und der Andere Maschinen-Elektricität von möglich höchster Spannung anwandte.

Durch seine ersten, aus den Längen-Operationen der Küsten-Vermessung gewonnenen Resultate wurde Walker zu der Ansicht geführt, daſs in der Nacht des 23. Januar 1849 die Signäle zwischen Cambridge und Washington eine Geschwindigkeit von 18690 engl. Meilen in der Sekunde besaſsen, mit einem wahrscheinlichen zufälligen Fehler von 1000 Meilen[2]).

In der Nacht des 31. October 1849 wurde eigends eine Versuchsreihe gemacht, um die zur Uebertragung der Signäle erforderliche Zeit zu bestimmen. Die Resultate davon sind im Astron. Journ. No. 7 veröffentlicht[3]), mit einer ausführlichen Nachricht von den angewandten Methoden und einer analytischen Untersuchung des Einflusses der Umstände, die auf die Genauigkeit seiner Resultate störend einwirken konnten. Die Messungen auf allen Registern gaben ihm für jene Nacht eine Geschwindigkeit von 16000 engl. Meilen in der Sekunde, nur 1900 Meilen weniger als sein erstes Resultat, welches dadurch im Allgemeinen bestätigt zu seyn schien. Das Endresultat, zu welchem er gelangte, war: daſs ein an irgend einem Punkt durch Oeffnen oder Schlieſsen der galvanischen Kette gegebenes Signal an allen übrigen Punkten der Kette nach Zeiten beobachtet wurde, die dem Abstande von dem Orte der Gebung des Zeichens proportional waren und einer Geschwindigkeit von 16 bis 19000 engl. Meilen in der Sekunde entsprachen. Spätere Versuche mit dem chemischen Telegraph sind in

1) Pouillet-Müller, Lehrb. d. Phys. II. S. 186.
2) *Proceed. Americ. Phil. Soc. V. p.* 74.
3) Astron. Journ. I. p. 49.

Digitized by Google

No. 14. des Astron. Journ. beschrieben und geben eine noch geringere Geschwindigkeit [1]).

Prof. Mitchel, auf der Sternwarte zu Cincinnati, ist abweichender Meinung mit Hrn. Walker, und schreibt die von diesem erhaltenen Resultate dem Effect verschiedener Fehlerquellen und der Unsicherheit der von ihm angewandten Methoden zu. Er ersann zur Erforschung dieser Frage einen eigenen sehr sonderbaren Apparat, welchen er mit der Sinnreichheit und Handgeschicklichkeit, durch die er so ausgezeichnet ist, in der Sternwarte zu Cincinnati errichtete, und zur Ausführung einer groſsen Reihe interessanter Versuche auf der Telegraphenlinie zwischen Cincinnati und Pittsburg benutzte [2]). Prof. Mitchel ist der Meinung, daſs, nach dem durch Schlieſsen und Oeffnen der galvanischen Kette ein Signal gegeben worden, eine wahrnehmbare Zeit verstreiche, ehe dasselbe irgend einer anderen Station mitgetheilt wird, und daſs sie es dann alle gleichzeitig empfangen. Daraus und aus dem Detail seiner Versuche folgert er, daſs zwei Fluida in entgegengesetzten Richtungen zwischen den Polen der Batterie circuliren, daſs aber keines derselben seinen Einfluſs merkbar macht, bevor nicht jedes vollständig von Pol zu Pol circulirt habe [3]). Die Geschwindigkeit dieser Circulation setzt Prof. Mitchel auf etwa 30000 engl. Meilen in der Sekunde.

Endlich haben Fizeau und Gounelle in einem im verflossenen April veröffentlichten Aufsatz [4]) ihr Miſstrauen zu Walker's Resultaten ausgesprochen und eigene Versuche beschrieben, die mit einer Kette von 374 engl. Meilen gemacht wurden, einer Länge, die sie für ungeheuer halten, obwohl die bei den ersten Versuchen der Küsten-Messung im Januar 1849 gebrauchte Kette sich zwischen Cambridge und Washington durch 550 engl. Meilen Draht

1) Ibid. I. p. 105.

2) Ibid. I. p. 13. Astron. Nachr. XXX. p. 325. (Ann. Bd. 80, S. 161.)

3) Faraday, *Researches I. pp.* 518, 520, 521. (Ann. Bd. 48, S. 520.)

4) *Compt. rend. T. XXX. p.* 497. (Ann. Bd. 80, S. 158.)

Digitized by Google

erstreckte und in Stationen endigte, die in geodätischer Linie 380 engl. Meilen auseinander liegen. Diese Herren gebrauchten eine ganz andere Methode als Walker und Mitchel und fanden durch sie 62000 engl. Meilen in der Sekunde als Geschwindigkeit in einem 4 Mllm. dicken Eisendraht und 110000 engl. Meilen als Geschwindigkeit in einem Kupferdraht von $2^{mm},5$. Ihre Methode ist nicht unähnlich derjenigen, welche Jacobi i. J. 1838 bei Versuchen zur Bestimmung der für die Entwicklung des galvanischen Stroms erforderlichen Zeit anwandte [1]). Diese Versuche scheinen keine Data geliefert zu haben für die Frage, ob ein Signal nothwendig zu den verschiedenen Theilen der Kette in den Entfernungen proportionalen Zeiten übergeführt werde oder nicht.

Das ist, nach meinem besten Wissen, der gegenwärtige Zustand der Theorie, und, wie zu ersehen, stimmen die Ansichten in den wesentlichsten Punkten nicht überein. Noch gröſsere Meinungsverschiedenheiten herrschen bei den specielleren Fragen.

Die Versuche vom 4. Februar haben, wie mir scheint, zur Entscheidung vieler der fraglichen Punkte reichliches Material geliefert. Ich will daher ohne weitere Einleitung die Natur dieser Versuche, die Quellen und die Gröſse ihrer Fehler kurz in Betracht ziehen, obwohl dieſs schon von Hrn. Walker in der erwähnten Abhandlung in sehr eleganter Weise geschehen ist [2]). Es wird dann leicht seyn, die Fragen anzugeben, auf welche eine Erörterung der Versuche zwischen Washington und St. Louis eine Antwort liefern muſs.

Bei den elektromagnetischen Telegraphen nach Morse's Einrichtung werden die Signale mitgetheilt durch die Magnetisirung eines Hufeisens von weichem Eisen, welches von einem Drahtgewinde umgeben ist. So wie der Strom das letztere durchflieſst, wird das Eisen magnetisch und zieht einen vor ihm befindlichen Anker an, der mit einem Grab-

1) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 281.
2) Astron. Journ. I. p. 105.

Digitized by Google

stichel versehen ist. Dieser Stichel macht auf einem endlosen Papierstreifen, der unter ihm mittelst eines Uhrwerks in Bewegung gehalten wird, Eindrücke, so wie die Kette geschlossen wird, sonst nicht.

Fig. 5 Taf. IV. stellt den aufzeichnenden Apparat und seine Ajustirungen vor. *M* ist der Magnet, *A* der Anker, welcher bei Abwesenheit des Stromes durch eine Spiralfeder *S* zurückgehalten, aber angezogen wird, sobald der durch das Drahtgewinde gehende Strom das Eisen *M* magnetisch gemacht hat. Die Spannung der Feder wird durch einen Schlüssel regulirt. *H* ist die Trommel für den Papierstreifen, welcher den Eindruck aufnimmt. *N* ein Führer, um das Papier auf die Rolle *R'* zu leiten und zu drücken. Die Rolle *R''* empfängt ihre Bewegung von dem Räderwerk *W* und theilt sie dem Papierstreifen *F* mit. So wie der Anker angezogen wird, drückt der Zahn am Ende des Hebels *L* auf den Streifen und macht darin eine Furche, deren Länge, da die Bewegung gleichmäſsig geschieht, proportional ist der Dauer des Elektromagnetismus von *M*. Der Anker kommt nie mit dem Magnet in Berührung, sondern nähert sich ihm nur bis zu einer Gränze, die durch die Schraube *J* bedingt wird. Ebenso wird die Bewegung abwärts durch die Schraube *O* geregelt. Der Abstand, den der Anker von der äuſseren zur inneren Hemmung durchläuft, wird technisch *Hub* (*pass*) genannt.

Da die Kette jede beliebige Anzahl von Drahtgewinden einschlieſsen kann, so giebt es practisch keine Gränze für die Anzahl der intermediären Stationen; jede von ihnen empfängt die Signäle eben so gut wie die Endstation. Allein da die Stärke des Stromes, wegen unvollkommener Isolation der Drähte, mit der Entfernung von der Batterie rasch abnimmt, so wird, nach Morse's sinnreicher Einrichtung, eine örtliche Kette angewandt, welche diese Signäle besonders registrirt.

Fig. 6 Taf. IV. stellt eine Station auf der Hauptlinie vor. Die Bedeutung der Buchstaben ist dieselbe, wie in Fig. 5; der Drücker *K* regulirt die Feder. Die eine Elek-

Digitized by Google

trode der örtlichen Batterie ist mit dem Ankerstück *C*, die andere mit der metallenen inneren Hemmung *J* verbunden. Eine Anziehung des Ankers schlieſst die örtliche Kette, welche zum aufzeichnenden Apparat führt; und so genügt ein sehr schwacher Strom zur Schlieſsung der örtlichen Batterie, welche zu jedem erforderlichen Grad der Stärke eingerichtet werden kann.

Gesetzt nun, es werde an dem einem Ende der langen Kette durch das Pendel einer Uhr, bei jeder Oscillation, der Strom in einem Momente unterbrochen und gleich darauf wieder hergestellt, so werden wir auf den Registern der verschiedenen Stationen eine Reihe von Linien abwechselnd mit Pausen oder Lücken haben, — *Strichen* (*dots*), wie sie in der technischen Sprache der Telegraphisten heiſsen, nämlich so:

———— ———— ———— ————

Wenn die Papierstreifen durch die Maschinerie des Registrirapparats mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt werden und der Strom in dem Drahte keine Veränderung in seiner Stärke erleidet, wird jeder Strich und also auch jede Pause auf jedem Streifen gleiche Länge besitzen. Und wenn die Geschwindigkeit der Streifen auf allen Stationen gleich ist, werden die Striche, die Sekunden repräsenstiren, auf allen Registern von einerlei Länge seyn. Dieſs letztere steht nicht zu erwarten, ist auch in keiner Weise nöthig, denn es ist leicht, alle Register auf eine gleichförmige Scale zu reduciren. Allein es ist sehr wünschenswerth, daſs die Bewegung eines jeden einzelnen Streifens gleichförmig sey. Um eine groſse Annäherung zu solcher Gleichförmigkeit zu erlangen, ist eine weit empfindlichere und sorgfältiger costruirte Maschinerie erforderlich, als die, welche in den Telegraphenbüreaux gebraucht wird, und mit welcher die Versuche der Küsten-Vermessung gemacht wurden. Ein solcher Apparat ist erdacht und construirt worden von Hrn. Boyden zu Boston und von Hrn. Bond auf der Cambridger Sternwarte. Er bildet auch einen wesentlichen Theil der Vorrichtung des Prof. Mitchel. Indeſs

Digitized by Google

da man in der That in jedem Fall nur für eine einzige Sekunde von dem Gange der Treibmaschinerie des Registrirapparats abhängt, so reducirt sich der aus dieser Quelle entspringende Fehler auf den, der aus einer Aenderung der Geschwindigkeit zwischen dem Anfang und dem Ende einer und derselben Sekunde hervorgeht. Diese ist, abgesehen von auſserordentlichen Fällen, sehr klein, und wir können annehmen, daſs alle Fehler dieser Art sich selber eliminiren, wenn wir, statt einzelner Beobachtungen, das Mittel aus mehren nehmen.

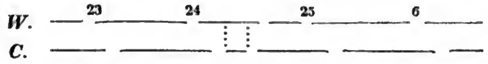
Während der Geschwindigkeitsversuche ist, an jeder Station der Telegraphenlinie, in die Drahtleitung eine Vorrichtung von der Art eingeschaltet, daſs der Strom durch Aufdrücken auf eine Taste unterbrochen werden kann, die, sobald man den Druck entfernt, durch eine Feder in ihre ursprüngliche Lage zurückgeführt wird und die Kette wieder schlieſst. *G* Fig. 5 stellt eine der Tasten dar. So hat es der Telegraphist an jeder Station in seiner Macht, nach Belieben, die Kette zu unterbrechen und mit einem Male mit allen übrigen Stationen der Linie zu communiciren.

Nachdem die galvanische Batterie und die die Kette unterbrechende Uhr mit der Linie verbunden worden, haben wir an jeder Station eine Uhr-Scale, d. h. eine Reihe von Strichen, getrennt durch kurze Lücken oder Pausen, von denen jede den Anfang einer Sekunde entspricht, deren Dauer durch die Länge des gefurchten Strichs gegeben ist. In der Uhr dieser Art zu Washington ist diejenige Pause, welche dem Anfang jeder Minute entspricht, fortgelassen, und dieſs setzt uns in den Stand, auf einem Papierstreifen von irgend einer Station die zu einer gegebenen Sekunde gemachte Uhrpause zu identificiren. Allein, mit welcher Geschwindigkeit die Uhrpause fortgepflanzt werde, oder, anders gesagt, welche Zeit verstreiche zwischen der Unterbrechung der Kette durch die Uhr und der Aufzeichnung der Pause auf dem Papierstreifen einer entfernten Station, das zu entdecken haben wir bisher noch kein Mittel. Denn wenn man die Register der verschiedenen

Digitized by Google

Orte vergleicht, wird man (bei Gleichheit aller übrigen Umstände) finden, daſs diese Zwischenzeit für alle Pausen gleich ist und daher bleibt sie unentdeckt.

Denken wir uns nun, daſs während die Uhr wie zuvor auf allen Registern ihre Scale graduirt, an irgend einer entfernten Station ein willkührliches Zeichen durch Unterbrechung der Kette gegeben werde. Die Vergleichung der verchiedenen Register wird uns dann in den Stand setzen, die zwischen dem Geben und Empfangen des Signals verstrichene Zeit zu registriren. Gesetzt, um die Ideen zu fixiren, die Uhr befinde sich zu Washington, das willkührliche Zeichen sey zu Cambridge gemacht, und die Zeit der Fortpflanzung des Signals von der einen Stadt zur andern betrage eine Dreiſsigstelsekunde. Dann wird die Uhrpause $\frac{1}{30}$ Sekunde nachdem sie zu Washington gemacht und registrirt worden, zu Cambridge aufgezeichnet, und die Pause des willkührlichen Zeichens zu Cambridge wird daselbst, sogleich wie es gemacht ist, aufgezeichnet oder $\frac{1}{30}$ Sekunde *bevor* sie Washington erreicht. Das Intervall zwischen der Signalpause und der vorangehenden Uhrpause ist also zu Washington länger als zu Cambridge, und der Ueberschuſs auf dem Washington-Register wird das Doppelte der zur Fortpflanzung des Signals zwischen beiden Städten erforderlichen Zeit messen.



Um zufällige Fehler zu vermeiden kann das Mittel aus vielen Messungen genommen werden; die Hälfte des mittleren Ueberschusses des Intervalls zwischen einer Uhrpause und der nächst folgenden Signalpause giebt dann die zur Fortpflanzung eines Signals verwandte Zeit.

Das ist die allgemeine Methode; betrachten wir nun die möglichen Fehlerquellen und deren wahrscheinlichen Einfluſs. Jede Uhrpause und jede Signalpause beruht in Wirklichkeit auf einer Combination zweier Signäle, die von einander verschieden sind und verschiedenen Gesetzen

folgen. Das eine besteht aus dem *Elektrotom* oder der Oeffnung der Kette, das andere aus der Schliefsung der Kette oder der *Elektropöe*, um Hrn. Walker's Worte zu gebrauchen [1]). Die Intervalle zwischen den Signälen lassen sich als gleich betrachten entweder den Intervallen zwischen den Elektrotomen oder Anfängen der Pausen oder denen zwischen den Elektropöen oder Anfängen der Striche oder besser denen zwischen den Mitten zweier auf einander folgender Pausen. Hr. Walker hat die letztere Methode benutzt, das Mittel aus den Ablesungen der Elektrotome und Elektropöen [2]). Ich meinerseits ziehe den alleinigen Gebrauch der Elektrotome vor.

Das einzige Signal, welches in einer geschlossenen Kette gemacht werden kann, ist natürlich ein Elektrotom. Wir unterbrechen die Kette durch Aufdrücken auf die Taste. Sowie wir den Finger fortziehen, wird die Kette durch eine Feder wieder geschlossen und somit das Elektropöe-Signal gegeben. Wandern diese beiden Signale mit derselben Geschwindigkeit? Wenn sie es nicht thun, müssen die Uhrpausen an Länge zu- oder abnehmen, je nachdem sie successiv an entfernteren Stationen aufgezeichnet werden. Sie müssen sich verlängern, wenn das Elektrotom-Zeichen das schneller gehende ist, und sich verkürzen im umgekehrten Fall. Diese Frage ist eine wichtige, doch mag sie einstweilen beiseit gelegt werden, da die Länge der aufgezeichneten Pause von vielen anderen Umständen abhängt, namentlich von den Ajustirungen des Registrirapparats, welche nicht nur auf den verschiedenen Stationen sehr verschieden sind, sondern sich auch auf einer und derselben Station während des Abends durch das Telegraphiren beständig verändert zu haben scheinen. Ich möchte glauben, dafs beide Arten von Signälen die Kette mit gleicher Schnelligkeit durchlaufen, oder, anders gesagt, dafs die Induction des elektrischen Zustands in den successiven Moleculen des leitenden Mediums keine gröfsere oder geringere Zeit er-

1) Astron. Journ. I. p. 51.

2) *Proceed. Americ. Phil. Soc. V. p.* 76. Astron. Nachr. XXIX. 56.

fordert als die Zurückführung derselben in den Zustand des vollen elektrischen Gleichgewichts. Um die Ansicht von dem Gegenstand besser zu befestigen, ist eine Hypothese wünschenswerth, welche alle Erscheinungen zu erklären vermag; ich habe mich daran gewöhnt, die Fortpflanzung der elektrischen Polarität durch ein Medium als hervorgehend aus einer von Theilchen zu Theilchen ausgeübten Inductivkraft zu betrachten [1]).

Betrachten wir die Telegraphendrähte als bestehend aus einer Reihe an einander liegender Elemente, so macht ein Elektrotom, welches an irgend einem Punkte stattfindet, dem Zustande der elektrischen Spannung in dem nächsten Element zu beiden Seiten ein Ende. Und ist das elektrische Gleichgewicht in diesen Elementen wieder hergestellt, giebt es keine Kraft die Störung in den folgenden zu unterhalten und so fort [2]). Aus den bekannten Gesetzen des Magnetismus läſst sich auf eine analoge Fortpflanzung einer Elektropöe oder elektrischen Störung schlieſsen. Haben wir einen gekrümmten Stab von weichem Eisen, der nicht ganz einen vollen Umkreis bildet und füllen die Lücke durch ein Stück magnetisches Eisen aus, so wird der ganze Kreis magnetisch. Obwohl die Zeit zur Fortpflanzung dieser Kraft so kurz ist, daſs sie allen Versuchen zu ihrer Messung trotzt, so kann es doch keinem Zweifel unterliegen, daſs nicht zwischen der Einführung des Magnets und der Magnetisirung der entferntesten Stelle des Ringes eine Zeit von endlicher Dauer verstreicht. Ich bin gewöhnt, mir die Fortpflanzungsweise der Signäle in dieser Weise zu denken. Die Versuche von Wheatstone zeigen, daſs der elektrische Funke an Punkten, die zu beiden Seiten der Batterie gleichen Abstand von ihr haben, gleichzeitig, und in der Mitte zwischen den Polen später erscheint; das stimmt mit

1) Faraday, *Recherches I.* §. 1677 und 1700. (Ann. Ergänzband I. S. 251 und 261.)

2) Ibid. I. §§. 1671 und 1686. (Ann. Ergänzungsbd. I. S. 250 u. 255.)

mit der aufgestellten Hypothese vollkommen überein [1]). Für jetzt kann ich daher nur annehmen, daſs die Elektrotom- und Elektropöe-Signäle mit gleicher Schnelligkeit, und, in einer aus Einem Medium bestehenden Kette, in beiden Richtungen fortgepflanzt werden [2]).

So wie die Kette plötzlich geschlossen wird, läuft die elektrische Störung mit einer groſsen Schnelligkeit durch den Telegraphendraht und, bei Erreichung einer registrirenden Station, auch durch die Drahtrolle, wodurch dann das eingeschlossene Hufeisen magnetisirt, der Anker von ihm angezogen und die örtliche Kette geschlossen wird. Dieselben Erscheinungen wiederholen sich in der örtlichen Kette und der Grabstichel an dem Ankerhebel macht seine Marke auf dem Papier. Alle diese Vorgänge erfordern Zeit, und das absolute Intervall zwischen dem Elektropöe-Signal und seiner Uebertragung auf den Papierstreif ist daher bedeutend gröſser, als es vermöge der Fortpflanzungszeit des Signals längs dem Draht seyn würde. Der Unterschied besteht:

1) aus der *Inductionszeit* oder der Zeit, welche nach Herstellung des Stroms in der Drahtrolle verstreicht, bevor das Hufeisen hinlängliche Magnetkraft erlangt hat, um die Spannung der Spiralfeder zu überwältigen und den Anker zu bewegen.

2) Aus der *Hub-Zeit* oder der Zeit, welche der An-

1) Eine sehr groſse Analogie mit der galvanischen Kette liefert die Ladung und Entladung einer elektrischen Batterie »*per cascade.*« Eine Reihe Leidener Flaschen, deren erste mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung steht, und die unter sich so verbunden sind, daſs die innere Belegung der einen mit der isolirten äuſseren Belegung der vorhergehenden zusammenhängt, liefert eine Nachahmung von einer mit einer Batterie verknüpften unterbrochenen Drahtleitung. Eine Verknüpfung des äuſseren Beleges der ersten Flasche der Reihe mit dem inneren der letzten entweder durch den Entlader oder durch den Boden, entspricht einer Elektropöe oder *Schlieſsung* der Kette. Der Unterschied zwischen der Ladung der ersten und letzten Flasche stellt den Leitungswiderstand dar.

2) Faraday, *Researches I.*, §§. 516 und 1630. (Ann. Bd. 32 S. 430 und Bd. 48, S. 521.

Digitized by Google

ker gebraucht, um den Hub (*pass*) zu durchwandern und die örtliche Kette zu schlieſsen.

3) Aus der *Fortpflanzungszeit* der Elektropöe in der örtlichen Kette.

4) Aus der *Inductionszeit* des Magnets der örtlichen Kette.

5) Aus der *Hub-Zeit* in derselben.

Wenn die Ajustirungen der örtlichen Kette gut sind und sich während des Versuchs nicht ändern, auch die Wirkung der örtlichen Batterie constant ist, so bleiben die drei letzten Gröſsen gleich für alle Elektropöe-Signäle während des Versuchs, und sie haben keinen anderen Einfluſs, als daſs sie alle registrirten Pausen um eine sehr kleine Gröſse verlängern. Dieſs ist gewöhnlich der Fall gewesen und vereinfacht das Problem sehr bedeutend [1]), indem uns nur drei Gröſsen unbekannt bleiben: Die Zeit der Fortpflanzung, die der Induction und des Hubes in der Hauptkette.

Die Aufzeichnung des Elektrotoms-Signals ist nicht so sehr einer zufälligen Störung unterworfen. Im Moment, wo der Strom in der Drahtrolle aufhört, beginnt das eingeschlossene Eisen von seinem Magnetismus zu verlieren, und sobald es hinreichend geschehen, daſs die Feder den Anker zurückziehen kann, ist die örtliche Kette unterbrochen. Die Zeit des Hubes nach auſsen hat keinen Einfluſs auf die Registrirung. Das Einzige, was in Betracht kommt, ist die Zeit zwischen dem Aufhören des Stroms in der Drahtrolle und dem Verschwinden des Magnetismus im Eisen. Dieses Intervall ist das Umgekehrte der Inductionszeit und mag daher *Eductionszeit* genannt seyn.

Was von den Berichtigungen bei einer Elektropöe bemerkt worden, gilt auch von der Fortpflanzung eines Elektrotoms durch die örtliche Kette und von der Eductionszeit ihres Magnets. Sind die Ajustirungen der örtlichen Kette gut gemacht und bleiben sie unverändert, ist auch die Intensität der Batterie eine constante, so ist der Fehler aus diesen Quellen derselbe für alle Elektrotome und Elektropöen.

1) Walker, Astron. Journ. I. p. 52.

Digitized by Google

Die Hauptfehlerquelle liegt dann, wie ersichtlich, in der Hubzeit des Ankers des empfangenden Magnets, und kann ganz vermieden werden, wenn man nur Elektrotome anwendet, da sie auf diese durchaus keinen Einfluſs ausübt. Daher habe ich es auch vorgezogen, statt der Mittel zwischen Elektrotomen und Elektropöen, bloſs die ersteren abzulesen. Die Hubzeit ist eine sehr beträchtliche Gröſse im Vergleich zu den übrigen Zahlen, um welche es sich bei diesen Untersuchungen handelt.

Die Ajustirung des Hubes zu der zweckmäſsigsten Gröſse geschieht mittelst der Schrauben *J* und *O* (Fig. 5 und 6 Taf. IV.). Die Kraft, mit welcher der Anker angezogen wird, kann, mit Ausnahme sehr groſser Nähe an dem Magnet, als nahe im umgekehrten Verhältniſs der Abstände variirend angesehen werden [1]. Der Abstand, bis zu welchem der Anker sich den Magnetpolen nähern darf, ist beschränkt durch die Bedingung, daſs die Spannung der Spiralfeder stark genug seyn muſs, um ihn sobald als möglich nach Oeffnung der Kette zurückzuziehen, und doch nicht so stark, daſs dadurch die Rückkehr desselben bei abermaliger Schlieſsung der Kette verzögert wird. Der Hub wird daher so kurz als thunlich gemacht, um dem Anker noch hinreichenden Spielraum zu lassen, daſs alle vom Grabstichel auf dem Papier zu machenden Striche und Pausen deutlich und scharf werden. Folgende Betrachtungen haben mich geleitet, um bei den in Rede stehenden Versuchen die Hubzeit abzuschätzen.

Gesetzt die Anziehung des Magnets auf den Anker sey der Schwerkraft an der Erdoberfläche gleich, so haben wir für verschiedene Längen des Hubes folgende Zeiten:

Länge d. Hubes. Millm.	Zeit. Sekunden.	Länge d. Hubes. Millm.	Zeit. Sekunden.
2,50	0,0226	1,25	0,0160
2,25	0,0214	1,00	0,0143
0,02	0,0202	0,75	0,0124
7,71	0,0189	0,50	0,0105
5,51	0,0175	0,25	0,0086

1) *Channing, Davis's Manual of Magnetism. pp.* 150—155.

So weit ich beurtheilen kann, liegt der gewöhnliche Hub beim *empfangenden Magnet* der Hauptkette zwischen 1,75 und 0,50 Mllm., und dieſs würde, unserer Voraussetzung nach, eine Hubzeit von 0",019 und 0",010 geben. Eine Anziehungskraft viermal stärker als die Gravitation würde die Hälfte dieser Zahlen geben. Allein diese Betrachtungsweise ist eine sehr rohe, denn da die Anziehung sich mit dem Abstand ändert, so würde die anfängliche Kraft (welche den gröſsten Einfluſs auf die Hubzeit ausübt) viel geringer seyn, wenn die Hublänge gröſser wäre, und die Spannung der Springfeder wirkt auch sehr beträchtlich vergröſsernd auf die Hubzeit. Ich möchte glauben, daſs die Hubzeit bei den Versuchen am 4. Februar durchschnittlich etwa 0",03 betrug. Hr. Walker schätzt sie dagegen auf $\frac{1}{15}$ Sekunde, mehr als doppelt so groſs. Hätten wir in Hrn. Saxton's Uhr irgend wie ein Mittel, die Dauer der Unterbrechung des Stroms zu messen, so würde sie von groſsem Nutzen seyn, da wir dann die Hubzeit in vielen Fällen bestimmen könnten. Bei allen aus den telegraphischen Registern allein zu ziehenden Schlüssen sind Hubzeit und Inductionszeit unzertrennlich verknüpft. Bezeichnen wir die verschiedenen Intervalle mit ihren Anfangsbuchstaben, so haben wir für die *aufgezeichnete* Uhrpause $U = u - e + i + h$.

Als erste Hypothese können wir annehmen, was aus anderen Betrachtungen nicht unwahrscheinlich scheint, daſs e und i gleich sind. Subtrahirt man dann die Länge des Intervalls, während dessen die Kette wirklich durch die Uhr unterbrochen ist, so wird der Rest die *Hubzeit* seyn. Deshalb bat ich Hrn. Saxton durch Hrn. Bache wo möglich eine Schätzung des Intervalls zwischen dem Oeffnen und Schlieſsen der Kette bei jeder Uhrpause vorzunehmen. Hr. Saxton erklärte aber, was sehr zu bedauern ist, daſs er dazu auſser Stande sey. Es scheint mir, daſs sorgfältige Beobachtungen des Winkels, welchen das Pendel, zur Zeit wo es den Stoſshammer schlägt, mit der Verticale macht, einige Genauigkeit in der Abschätzung liefern werde. Die

daraus hergeleitete Hubzeit würde uns andererseits in den Stand setzen, unsere Hypothese von der Gleichheit der Inductions- und Eductionszeit zu prüfen. Für jetzt wird sie allein durch das mir einiges Vertrauen einflöſsende Resultat unterstützt, daſs die Geschwindigkeit der Elektrotom- und der Elektropöe-Signäle gleich ist. Die letztere ist indeſs umgekehrt proportional der Summe aller Inductionszeiten der Theilchen längs dem ganzen Draht, wie es die erstere der Summe ihrer Eductionszeiten ist. Wenn diese für den Draht gleich sind, ist der Schluſs natürlich, daſs sie auch für den Eisenkern der Drahtrolle gleich sind, sobald dieser so weich ist als das Eisen des Drahts.

Solche Speculationen sind indeſs eitel und würden nicht gerechtfertigt seyn, hätten wir Data zu einer genauen Untersuchung der Frage. Sowie aber das Problem sich jetzt uns darbietet, scheint Jedes interessant und beachtenswerth, was zu einer Vermuthung Gelegenheit giebt.

Mein Freund Prof. Mitchel glaubt durch den von ihm angewandten Apparat die Länge der Ankerzeit, welche der Summe der Inductions- und der Hubzeit gleich ist, wirklich messen zu können[1]). Die von ihm benutzte Methode läſst sich indeſs nicht auf die mit Morse's Instrument gemachte Aufzeichnung anwenden.

In dem früheren Theile meiner Bemerkungen lieſs ich es unentschieden, ob die Elektrotome und Elektropöen mit gleicher Geschwindigkeit gehen, und so eben habe ich diese Frage bejaht. Diese Ansicht bildete sich folgendermaſsen.

Wir haben die Länge der aufgezeichneten Uhrpause $U = u - e + i + h$ und die der aufgezeichneten Signalpause $S = s - e + i + h$.

Nehmen wir den Unterschied beider, so verschwinden die drei unbekannten Gröſsen und wir haben $U - S = u - s$ d. h. der Unterschied der wirklichen Dauer der Pausen gleich dem Unterschiede ihrer aufgezeichneten Dauer. Die einzige Voraussetzung hierbei ist, daſs die Zeiten der Induction, der Eduction und des Hubes gleich seyen für beide Pausen, eine ganz gerechtfertigte Voraussetzung, wenn wir

1) Astron. Journ. I. p. 16.

Digitized by Google

nalpause mit der nächsten Uhrpause verg
verden sie mehr als eine Viertelsekunde au
, und innerhalb eines so kurzen Intervalls
e Veränderung der Werthe der Berichtigung
einlich. Ich habe von den Längenunterschi
desselben Signals und der Uhrstriche für s
e Telegraphenstationen auf der Linie von
h St. Louis eine Tafel gebildet, und finde
on von mehr als hundert verschiedenen
: Mittel aus diesen Unterschieden fast id
Stationen.

Intensität des Stromes ist, selbst an dem
egen verschiedener Einflüsse ganz unglei
: thermometrische und hygrometrische V
der Atmosphäre, welche auf die Isolation
nwirken; Unbeständigkeit der Batterie, d
sich sehr mit der Temperatur verändert;
der Substanz der Platten; fortwährend
bblätterung von Oxyd-Ueberzügen [1])
Umstände. Bereits haben wir gesehen,
t mit der Intensität des Elektromagnetismus
t der Intensität des Stromes variirt [2]), u
wir schliefsen, dafs die verschiedenen U
auf denselben Registern, nicht von gleicher
nen. Dafs sie es nicht thun, geht aus folgen
vor, welche den mittleren Werth der Uhrpau
tation für fünf auf einander folgende Minuten a

aday, *Researches I.* §. 1144. (Ann. Bd. 36, S. 518.)
hner, Schweigg. Journ. Bd. LXIX. S. 274 u. 316. L
bi, Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 233. *Bull. de l'Aca*
sb. IV, 204.

Mittlere Länge der Uhrpause.

	Seaton Station.	Washington.	Pittsburg.	Cincinnati.	Louisville.	St. Louis.
8h 47′	0″,072	0″,068	0″,055	0″,095	0″,098	0″,092
48	0 ,091	0 ,050	0 ,067	0 ,090	0 ,093	0 ,100
49	0 ,094	0 ,065	0 ,055	0 ,084	0 ,125	0 ,110
50	0 ,103	0 ,071	0 ,059	0 ,081	0 ,103	0 ,118
51	0 ,100	0 ,078	0 ,055	0 ,081	0 ,093	0 ,102
Mittel	0 ,091	0, 067	0 ,058	0, 087	0 ,104	0 ,109.

Wie man bemerken wird, folgen die Veränderungen durchaus keinem allgemeinen Gesetz; die Länge der Pause wächst an einer Station, während sie an einer anderen abnimmt, und sie ist keinesweges proportional dem Abstande von der Uhrstation, auch nicht, so weit ich urtheilen kann, der Stärke der örtlichen Batterien [1]).

Der Hub beim Pittsburger Register war zu klein, so klein, daſs die Aufzeichnungen sehr undeutlich und schwierig abzulesen waren; man wird bemerken, daſs die Uhrpausen des Pittsburger Registers die kürzesten waren. Die Aufzeichnungen zu Cincinnati waren die deutlichsten von allen, zum Theil wegen der feineren Beschaffenheit des Papiers. Die Uhrpausen kommen zwischen 0″,04 und 0″,16 von allen Längen vor. Die mittlere Länge ist nicht weit von 0″,086. Ich glaube, der gröſsere Theil der Unregelmäſsigkeiten rührt von Ursachen her, die viel weniger verborgen als die erwähnten sind, hauptsächlich von Unregelmäſsigkeiten und Unvollkommenheiten in dem mechanischen Theil des Registrirapparats.

Bain's galvano-chemischer Telegraph liefert eine Gelegenheit, den Versuch ganz unabhängig von der bei Morse's Apparat so störenden Hubzeit anzustellen. Das Papier, auf welchem bei Bain's Telegraph die Aufzeichnung geschieht, ist gefärbt mit einer Lösung von Kaliumeisenchlorür (*ferrocyanate of potash*). Es sitzt auf einer rotirenden Metallscheibe, die mit dem einen Pol der Batterie verbunden ist, während eine Nadel oder ein zugespitzter Draht darauf herumfährt. Wenn die Kette geschlossen

1) *Pouillet, Compt. rend. T. IV. p.* 272.

Digitized by Google

wird, geht der Strom zwischen Nadel und Metallscheibe über und färbt bei seinem Durchgang das Papier durch theilweise Zersetzung des Kaliumeisenchlorürs. Mit diesem Telegraphen hat Walker eine Reihe von Versuchen zwischen Boston und New-York angestellt [1]). Allein obwohl hier die Hubzeit vermieden ist, werden dafür andere Fehlerquellen eingeführt. Die Zeiten der Aussetzung und des Beharrens der chemischen Wirkung nehmen die Stelle der Zeiten der Induction und Eduction beim Elektromagnet ein und eine neue, ernstliche Schwierigkeit entsteht durch das Ausbreiten der Linien, die eine chemische Wirkung erlitten haben [2]).

Der Charakter des elektro-chemischen Telegraphen erlaubt keine örtliche Kette, im technischen Sinne dieses Ausdrucks, und in der That ist sie auch unnöthig, denn ein Strom, der fähig wäre eine örtliche Kette zu schlieſsen, würde auch auf das sehr empfindliche Salz, mit welchem das Papier getränkt ist, kräftig einwirken.

Allein bei den Geschwindigkeits-Versuchen ist es nöthig, daſs wenigstens an den beiden Endstationen eine Aufzeichnung gemacht werde; und das Schlieſsen der Kette an der einen Station, um daselbst aufzuzeichnen, lenkt nothwendig den Strom von der anderen ab. An Stationen, die nicht weiter von einander liegen wie New-York und Boston, mag mit einer kräftigen Batterie eine genügende Aufzeichnung erlangt werden; allein bei einer so langen Linie, wie die von New-York nach Buffalo, würde eine Batterie, die so kräftig wäre, daſs sie an dem einen Endpunkt ein Loch ins Papier brennte, dennoch nicht an dem andern die Signäle aufzeichnen, wenn man die Kette der Signal-Station schlösse.

Diesem Uebelstande hat Hr. Bain sinnreich dadurch abgeholfen, daſs er an der Signalstation eine kurze Kette anwendet, die durch denselben Drücker geschlossen wird, welcher die Hauptkette schlieſst. Allein selbst dieses führt eine neue Quelle von Unsicherheit ein. Ein sonderbares

1) Astron. Journ. 1. S. 105.

2) Ibid. p. 108. *Proceed. Americ. Assoc.* 1849. *p.* 189.

Digitized by Google

Resultat, welches Hr. Walker aus seinen Versuchen ableitet [1]), besteht darin, daſs die entfärbten Linien, welche die Dauer des Stroms messen, an der Station, wo die Signale gegeben werden, länger sind als an dem andern Ende der Linie. Daraus könnte man in Bezug auf die Gleichheit der Geschwindigkeit der Elektrotome und Elektropöden einen umgekehrten Schluſs ziehen, wie ich aus den Registern von St. Louis zog; allein es scheint mir wahrscheinlicher, daſs die Erscheinung entweder von einer Verschiedenheit der Kette oder von einer höheren Intensität des Stroms und folglich der chemischen Wirkungen desselben herrührt. Die Frage bleibt noch offen für die Discussion.

Die Versuche von Fizeau und Gounelle in Frankreich wurden nach einem ganz andern Princip gemacht und führten zu einer Reihe von Schlüssen, die in den *Comptes rendus*, 1851 April, im Detail gegeben sind [2]). Die veröffentlichte Beschreibung ihrer Methode ist indeſs sehr dunkel und die Data, worauf sie ihre Schlüsse begründen, sind nicht vollständig angegeben. Ihre Methode scheint einigermaſsen analog dem sehr eleganten Versuch, durch welchen Hr. Fizeau früher die Geschwindigkeit des Lichts zwischen Paris und Montmartre gemessen hat [3]). Ein Rad, welches 36 abwechselnd hölzerne und platinerne Abtheilungen enthält, dreht sich, mit dem Rande isolirte Platinplatten berührend, von denen jedes Paar einen besonderen Strom-Unterbrecher bildet. Das Triebwerk des Rades ist verbunden mit einem Apparat zur Messung der Rotationsgeschwindigkeit und die Wirkung der verschiedenen Geschwindigkeiten und der verschiedenen Ketten wird an einem Galvanometer beobachtet [4]).

Aus diesen Versuchen leiteten sie, wie schon gesagt, eine Stromgeschwindigkeit her, die für den 4 Millimet

1) Astron. Journ. 1. S. 106.
2) Compt. rend. *XXX. p.* 439. (Ann. Bd. 80, S. 158.)
3) *Ib. T. XXIX, pp.* 99, 132. (Ann. Bd. 79, S. 167.)
4) Becquerel *Traité T. V. p.* 275.

Digitized by Google

dicken Eisendraht 63200, und für den 2,5 Millimeter dicken Kupferdraht 110000 engl. Meilen in der Sekunde betrug.

Ueberdieſs folgern sie:

Daſs die beiden Elektricitäten sich mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen [1]).

Daſs die Spannung der Elektricität keinen Einfluſs auf die Geschwindigkeit habe.

Daſs die Geschwindigkeit sich nicht mit dem Querschnitt des leitenden Materials verändert, sondern nur mit dessen Natur, und zwar nicht im Verhältniſs der Leitungsfähigkeit.

Daſs die discontinuirlichen Ströme »eine Ausbreitung erleiden, in Folge welcher sie am Ankunftspunkte einen gröſseren Raum einnehmen als am Ausgangspunkt.«

Dieſs letztere Resultat steht im geraden Widerspruch zu den von Walker mit dem chemischen Telegraph angestellten Versuchen, durch welche er, bei Anwendung einer unendlich weniger complicirten Methode, die Dauer der elektrischen Ströme an der entfernteren Station geringer fand. Nach Fizeau pflanzt sich die Elektropöe rascher fort als das Elektrotom [2]); nach Walker ist es umgekehrt [3]). Fizeau gebrauchte eine Kette von 374 engl. Meilen Länge, Walker eine von 250 engl. Meilen Draht, dessen beide Enden durch eine Bodenstrecke von 190 engl. Meilen communiciren.

Die Versuche, welche die Küsten-Vermessung am 4. Februar auf der Linie von Washington und St. Louis, bei 1045 engl. Meilen Entfernung durch den Draht und 742 in geodätischer Linie, anstellten, lassen mich vermuthen, wie schon gesagt, daſs die Geschwindigkeit beider Signäle dieselbe sey, oder (bei Gleichheit aller übrigen Umstände) die aufgezeichneten Pausen an allen Stationen der Kette gleiche Länge besitzen. Hrn. Walkers Resultate möchte ich einer intensiveren chemischen Wirkung des Stroms auf das zubereitete Papier an den Signalstationen zuschreiben,

1) Faraday, *Researches I.* §. 1333. (Ann. Bd. 47, S. 41.)
2) *Compt. rend. T. XXX. p.* 440. (Ann. Bd. 80, S. 158.)
3) Astron. Journ. 1. p. 106.

Digitized by Google

und ungeachtet ich für die merkwürdige Sinnreichheit und Sorgfalt des Hrn. Fizeau die aufrichtigste Bewunderung hege, kann ich doch nicht umhin, seine Methode als wenig zuverläſsig zu betrachten.

Walker's Schlüsse hinsichtlich der Geschwindigkeit sind keinesweges unvereinbar mit Wheatstone's Versuchen, denn die Spannung der Elektricität, das Leitvermögen und die Gröſse des Drahts waren so verschieden in beiden Fällen, daſs jeder Vergleich unmöglich ist. Fizeau dagegen steht im offensten Widerspruch mit demselben, denn er findet, daſs weder die Spannung der Elektricität, noch die Intensität des Stroms, noch die Dicke des Leiters irgend einen Einfluſs auf die Geschwindigkeit ausübt, und zugleich setzt er die Geschwindigkeit durch seinen Kupferdraht zu 110000 engl. Meilen in der Sekunde, während Wheatstone 288000 für die untere Gränze der Geschwindigkeit in dem von ihm angewandten Kupferdraht fand.

Die anderweitigen Fragen, auf welche ich die Resultate des Washington-St. Louis-Versuchs anzuwenden beabsichtige, sind:

1. Erhielten die Stationen auf der Linie die Signalpausen in der Ordnung ihrer Entfernung und nach Zeiten, die ihrer Entfernung von dem Orte, wo das Signal gegeben wurde, proportional waren.

2. Wenn dieſs der Fall war: auf welchem Wege gelangten die Signale zu den einzelnen Stationen, entweder durch die Erde, wie Hr. Walker glaubt, wenn die Entfernung zwischen den Stationen durch die Erdoberfläche geringer ist als durch den Draht, und, wenn dem so war, mit welcher Geschwindigkeit, oder wanderten sie gleichförmig durch den Draht und mit welcher Geschwindigkeit.

3. Bewirkte die Intensität des Stroms einen wahrnehmbaren Unterschied in der Geschwindigkeit[1]) oder wurde letztere durch Einschaltung einer Batterie zwischen zwei Stationen merklich abgeändert.

1) Fechner's *Repert. II*, 407. Poggendorff's Annalen LIII, — De la Rive, *Archives de l'Electricité, I*, 533.

Digitized by Google

Bei allen Messungen zur Bestimmung der Geschwindigkeit habe ich nur die Elektrotome gebraucht, und die Resultate sind demnach ganz unabhängig von der Hubzeit der Hauptkette.

Die Register von Pittsburg und St. Louis sind beide sehr undeutlich, theils wegen Unbestimmtheit der vom Grabstichel gemachten Eindrücke, theils wegen der schlechten Beschaffenheit des Papiers. Das Pittsburger Register ist überdieſs wegen der Kürze des Hubes an vielen Stellen unleserlich. Dieſs könnte indeſs leichter als alle übrigen entbehrt werden; allein es ist ein sehr unglücklicher Umstand, daſs gerade das St. Louis-Register, das wichtigste von allen, so undeutlich ist. Auch zeigte es den Nachtheil, daſs wegen der langsamen Bewegung des Papierstreifens, die Möglichkeit, einen Fehler beim Messen zu begehen, bedeutend vergröſsert war.

Die Messung der Intervalle auf dem Papierstreif ist eine groſse und sehr mühsame Arbeit und der Fehler beim Ablesen steigt im Mittel auf einige Hundertel-Sekunden, obwohl die Intervalle meistens mittelst Zirkel (*dividers*) und Metallscale, nicht mit einer Diagonalscale von Horn, gemessen wurden [1]).

Alle angeführten Resultate beruhen auf dem Mittel einer groſsen Zahl von Ablesungen; mehr als 5000 Messungen wurden am 4. Februar gemacht, um sie zu erhalten. Der wahrscheinliche Fehler, der in jedem Fall berechnet wurde, giebt an, wie weit sie zuverlässig sind. Die entsprechenden Minuten wurden durch die von den Telegraphisten zu der Zeit gemachten Bleistiftstriche ohne Schwierigkeit erkannt; allein derjenige Theil des Streifs, welcher der Zeit des Aufziehens des den Registrirapparat bewegenden Gewichts entsprach, wurde nicht immer aufgezeichnet, und diese Unterlassung veranlaſste, wie leicht zu erachten, groſse Beschwerde.

Zur Schätzung der Drahtlängen zwischen den verschiedenen Stationen wurden zu den in den Registern (*Books*

1) *Proceed. Americ. Assoc.* 1849 *p.* 189.

Digitized by Google

of reference) angegebenen Entfernungen zehn Procent hinzugefügt. Dieser Zusatz glaube ich, ist für den krummen zikzakförmigen Lauf der Drähte zu gering, mag indeſs im Ermangelung genauerer Kenntniſs einstweilen gebraucht werden. Dann sind die Entfernungen der verschiedenen Stationen entlang dem Draht folgende:

Washington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1045	757	428	298	St. Louis.

Die Versuche nahmen eine Zeit von mehren Stunden ein. Die Uhr zu Seaton graduirte die Scale in Seaton selbst, in Washington City, Pittsburg, Louisville und St. Louis. Der Telegraphist (*Operator*) zu St. Louis gab von Zeit zu Zeit, in Intervallen von zwei oder drei Sekunden durch Unterbrechung des Stromes willkührliche Signale, welche an allen Stationen aufgezeichnet wurden. Er that dieſs zwei Minuten hindurch, zwei Mal an jedem Abend. Dasselbe thaten die Telegraphisten zu Louisville, Cincinnati und Pittsburg. An der letzteren Station wurden auch zehn Minuten lang Signäle gemacht, nachdem zu Seaton die Batterie aus dem zwischen der Uhr und dem Erboden liegenden Theil der Kette entfernt, und zwischen der Uhr und Pittsburg eingeschaltet worden war.

Die Anzahl der zur Erlangung des mittleren Unterschiedes der Register angewandten Messungen ist so groſs, daſs die Hinzufügung oder Wegnahme von funfzig aufeinanderfolgenden Messungen keinen merkbaren Einfluſs auf das Resultat hat.

Wir haben gesehen, daſs wenn die Uhrpausen zu Washington und die willkührlichen Signalpausen zu St. Louis gemacht werden, der Unterschied des Intervalls zwischen den Pausen in den Registern der Stationen der Zeit entspricht, welche der Strom zum zweimaligen Durchlaufe des Weges zwischen den Stationen gebraucht, indem an der Signalstation die Uhrpausen um denselben Betrag sp

ter, und die Signalpausen früher aufgezeichnet werden. Dasselbe gilt von den intermediären Orten; der Ueberschuſs des aufgezeichneten Intervalls an der Uhrstation ist gröſser um einen Betrag gleich dem doppelten Abstand zwischen den Stationen, deren Register verglichen wurden, dividirt durch die Anzahl von Meilen, welche der Strom in einer Sekunde durchlaufen hat.

Betrachten wir nun die Wirkung eines Signals, das nicht an einer Endstation, sondern an einer intermediären gemacht worden ist. An allen Orten jenseits dieser erfolgen die beiden Pausen um dasselbe Intervall später, als die entsprechende an der Signalstation; so daſs die Abnahme des aufgezeichneten Intervalls auf den Registern der successiven Stationen die Geschwindigkeit für das Doppelte des Abstandes von Washington miſst, bis wir die Station erreichen, wo das Signal gegeben ward. Allein für alle Orte jenseits der Signalstation bleibt das Intervall gleich, und die Aufzeichnung desselben muſs identisch seyn mit der auf der Signalstation selbst. Wir sind sonach im Stande, durch die an allen jenseitigen Stationen gemachten Aufzeichnungen unsere Schätzung der Geschwindigkeit zwischen der Uhr- und Signalstation zu controliren.

Für die Ueberschüsse der Intervalle zwischen den Signalpausen und den vorgehenden Uhrpausen auf dem Washington-Register über die auf den Registern der übrigen Stationen finde ich folgende Mittelwerthe.

Washington-Ueberschüsse.

Register.	Signäle.			
	Pittsburg	Cincinnati	Louisville	St. Louis
Pittsburg	0,0295	0,0283	0,0373	0,0451
Cincinnati	0,0317	0,0752	0,0843	0,0950
Louisville	0,0347	0,0750	0,1163	0,1343
St. Louis	0,0455	0,0704	0,1108	0,1451

Beschränken wir uns auf die Aufzeichnungen der zu St. Louis gemachten Signale, so finden wir, daſs die verschiedenen Register folgende Geschwindigkeiten anzeigen.

Digitized by Google

Pittsburg	12772	engl. Meil. in d. Sekunde
Cincinnati	13095	
Louisville	11124	
St. Louis	14404	
Mittel	12851.	

Die Uebereinstimmung dieser Zahlen halte ich für sehr befriedigend. Man wird bemerken, daſs das St. Louis-Register eine viel gröſsere Geschwindigkeit angiebt als alle übrigen. Nun beträgt die Entfernung von Washington nach St. Louis 1046 engl. Meilen im Drahte, aber nur 742 in geodätischer Linie, und es entsteht nun sehr natürlich die Frage, ob diese scheinbar gröſsere Geschwindigkeit nicht daraus entspringe, daſs die Signäle eher durch den Erdboden, als den kürzeren Theil der Kette, fortgepflanzt werden als durch den Draht. Die Entfernung nach Louisville beträgt im Drahte 747 engl. Meilen, und wenn die Signäle nach St. Louis durch den Boden mit derselben Geschwindigkeit fortgepflanzt würden wie nach Louisville durch den Draht, so würde die Fortpflanzungszeit für beide Orte gleich seyn. Die Resultate der Messungen bei diesen Versuchen zeigen, daſs die Signäle eine längere Zeit gebrauchten um St. Louis zu erreichen als Louisville, obwohl die gröſsere Länge der Zeit nicht der gröſsern Entfernung proportional zu seyn scheint. Diejenigen, welche glauben, daſs die Signäle durch die Erde fortgepflanzt werden (wenn durch sie die Entfernung kürzer ist), erklären diese beiden Umstände durch die sehr wahrscheinliche Annahme, daſs die Geschwindigkeit in dem Boden verschieden ist von der in dem Drahte. Die Data unseres Versuches würden Alles Erforderliche zur Entscheidung dieser Frage liefern, stimmten die Messungen hinreichend gut mit einander. Erwägt man indeſs, daſs wir es mit Gröſsen wie Hundertel und Tausendstel einer Sekunde zu thun haben, gemessen überdieſs mit Zirkel und Metallscale, auf Papier von verschiedener Güte, dessen hygrometrische Zusammenziehung und Ausdehnung nicht allein sehr groſs, sondern auch ungleich ist, so kann man von den Resultaten der verschiedenen Messungen keine sehr groſse Uebereinstimmung erwarten.

Digitized by Google

Wir geben hier die übrigen Data mehr im Detail nebst den nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmten wahrscheinlichen Fehlern.

Register.	Beob. Nummer.	Intervall.	Wahrschl. Fehler.	Geschwindigkeit.	Min. Gränze.	Max. Gränze.
			St. Louis-Signäle.			
P.	56	0",0451	0",00252	12772	12096	13527
C.	60	0 ,0950	0 ,00302	13095	12691	13525
L.	65	0 ,1343	0 ,00252	11124	10919	11337
St. L.	61	0 ,1451	0 ,00329	14404	14085	14738
			Louisville-Signäle.			
P.	37	0",0373	0",00267	15442	14410	16633
C.	46	0 ,0844	0 ,00148	14748	14494	15012
L.	46	0 ,1163	0 ,00149	12846	12684	13012
St. L.	36	0 ,1108	0 ,00173	13484	13276	13698
			Cincinnati-Signäle.			
P.	32	0",0283	0",00459	20400	17513	24294
C.	32	0 ,0752	0 ,00186	16543	15534	17685
L.	32	0 ,0750	0 ,00489	16587	15571	17744
St. L.	26	0 ,0704	0 ,00442	17670	16627	18854
			Pittsburg-Signäle.			
P.	44	0",0295	0",00154	19525	18557	20601
C.	36	0 ,0317	0 ,00233	18170	16926	19612
L.	37	0 ,0347	0 ,00258	16591	15451	17923
St. L.	10	0 ,0445	0 ,00249	12659	12003	13392

Klassificiren wir diese nach den Stationen, deren Entfernungen durch die aufgezeichneten Werthe gemessen sind, so haben wir:

Stationen.	Mittleres Intervall.	Zahl der Beobachtung.	Geschwindigkeit engl. Meilen pro Sekunde.
Pittsburg	0",03567	252	16147
Cincinnati	0 ,08289	196	15008
Louisville	0 ,12291	147	12155
St. Louis	0 ,14510	61	14404

Die Combination dieser Werthe nach der Methode der kleinsten Quadrate giebt als das Resultat der Versuche vom

Digitized by Google

vom 4. Februar eine Geschwindigkeit von 14900 engl. Meilen mit einem wahrscheinlichen Fehler des Mittels = ±10.

Diese letzten Tafeln scheinen die erste der vorhin aufgestellten Fragen entscheidend zu beantworten, und zugleich der Zeit die zweite aufzuschlieſsen. Wir sind berechtigt anzunehmen, daſs die durch Schlieſsen und Oeffnen der galvanischen Kette gegebenen Signale die verschiedenen Stationen successive in der Ordnung ihrer Entfernung erreichen und mit einer endlichen, meſsbaren Geschwindigkeit fortschreiten. Allein erreichen sie die Endstation durch die Drähte erst, wenn die Entfernung durch den Boden kürzer ist?

Hätten die Telegraphen gegenwärtig die Einrichtung, welche sie anfänglich besaſsen, so würde vielleicht eine Unsicherheitsquelle bei den Versuchen vermieden worden seyn; allein die Gelegenheit das letztere Problem zu lösen wäre verloren gegangen. So lange Steinheil's Entdeckung, daſs telegraphische Ketten ohne Nachtheil zur Hälfte aus dem Erdboden bestehen können, nicht benutzt ward, hatte eine jede derselben zwei Drähte zwischen den Endstationen. Allein hier zu Lande bildet auf allen Linien der Erdboden eine Hälfte der Kette.

Haben wir, wenn die beiden Enden einer Drahtleitung in einer Entfernung von vielen hundert Meilen von einander mit der Erde verbunden sind, anzunehmen, daſs durch die Erde hin eine specielle Spannungslinie von einem Ende zum anderen gebe, und daſs ein Signal vom Ende zum Ende durch den Boden in derselben Weise mitgetheilt werde wie durch den Draht? oder dürfen wir die Erde, um metaphorisch zu sprechen, als ein unermeſsliches Receptaculum betrachten, das fähig ist zu jeder Zeit jede Elektricitätsmenge aufzunehmen? Die erstere Meinung ist die meines Freundes Walker.

Allein ist es nicht unwahrscheinlich, daſs die schwache Thätigkeit einer galvanischen Batterie, die eine Drahtleitung von 1000 engl. Meilen durchläuft, im Stande sey auf einer Strecke von 750 engl. Meilen durch die Erde

hin in einer Sehne oder mit der Oberfläche Parallelen eine specielle Spannungslinie herzustellen? Ich meinerseits, muſs bekennen, daſs ich, bei Erwägung der groſsen Phänomene des Erdmagnetismus [1]), der ungeheuren galvanischen Kraft, die durch den gegenseitigen Einfluſs der im Innern der Erde vorhandenen unermeſslichen Metallmassen erregt werden muſs [2]), so wie der mächtigen elektrischen Thätigkeit, die bei den groſsen Processen der Natur entwickelt wird [3]), nicht zu glauben vermag, es könne, gegenüber allen diesen riesenhaften Kräften, die Wirkung einer schwachen Telegraphenbatterie eine *specielle continuirliche Linie* elektrischer Spannung durch den Boden hin zwischen zwei entlegenen Stationen herstellen [4]). Doch muſs sich jede

1) Faraday, *Researches II.* 151.

2) *Phil. Transact.* 1830.

3) Pouillet, *Ann. de chim. et de phys. XXXV.* 414. — Becquerell *Traité IV.* 164, 188. — Faraday, *Researches II.* 47, 93.

4) Mit *specieller* Spannungslinie meine ich eine Linie, welche, gleichviel ob unabhängig oder resultirend, im Stande ist, Elektrotom- und Elektropöe-Signäle in derselben Weise zu leiten, wie es von einem Drahte geschieht. Nach den bewundernswerthen analytischen Forschungen von Smaasen (Pogg. Ann. Bd. 69 S. 162 und Bd. 72 S. 435) und den bestätigenden, obwohl unabhängigen Untersuchungen von Ridolfi (*Il Cimento,* 1847, May und Juni, Pogg. Ann. Bd. 72 S. 449) kann die Leitungsfähigkeit (*character of conduction*) der Erde nicht länger zweifelhaft seyn. Nach Baumgartner's Versuchen (Sitzungsberichte der Wiener Acad. 1849 May 10, Juli 5) scheint der Leitungswiderstand der Erde für Voltaische Ströme in groſsem Maaſse von der geologischen Beschaffenheit der durchströmten Oertlichkeiten abhängig zu seyn, da seine Versuche, das Leitvermögen der Erde zu messen, für verschiedene Richtungen von Wien aus, sehr verschiedene numerische Resultate ergaben. Baumgartner schlieſst aus seinen Versuchen, daſs die krummen Linien, welche der Strom zwischen den Elektroden durchläuft, nicht so sehr divergiren, wie es die Untersuchungen von Smaasen und Kirchhoff (Pogg Ann. Bd. 72 S. 497 und Bd. 75 S. 189) vermuthen lassen würden. Allein seine Versuche dürften wohl dem von Smaasen erhobenen Einwurf ausgesetzt seyn (Pogg. Ann. Bd. 72 S. 448), daſs wir die Polarisation der Platten genau kennen müssen, bevor wir eine sichere Folgerung auf den Widerstand der Erde ziehen können. Alle Bemühungen, das Leitvermögen der Erde aus den Küsten-Vermessungs-Versuchen vom 23. Jan. und 31. Oct 1849 oder vom 4. Febr., 5. Febr und 8. Juli 1850 in

Digitized by Google

Ansicht, die von den ausgesprochenen Meinungen einiger unserer gröſsten Naturforscher abweicht, mit Miſstrauen einstellen.

Die von mir gefaſste Ansicht, scheint durch die Küsten-Vermessungs-Versuche vom 4. Februar in zweierlei Weise bestätigt zu werden.

Gesetzt zunächst, die Uhrsignäle gingen von der Seaton-Station gleichzeitig in zwei Richtungen aus, um zugleich durch den Draht und durch die Erde zu dem Endpunkt in St. Louis fortgepflanzt zu werden; dann müssen wir annehmen:

1. Entweder, daſs das Signal, welches den Boden durchläuft, sich mit einer Geschwindigkeit bewege, die zu der durch den Draht genau in demselben Verhältniſs stehe, wie die Entfernung auf dem einen Wege zu der auf dem anderen. Dieſs würde fast unendlich unwahrscheinlich seyn, hätten wir nur den St. Louis-Versuch als Führer; allein wir besitzen auch die Küsten-Vermessungs-Versuche nach Cincinnati und Charleston und diese erweisen die Hypothese als unrichtig.

2. Oder, daſs die Geschwindigkeit durch die Erde so klein sey, daſs das Elektrotom, nach einem Durchgang von 742 engl. Meilen durch die Erde, St. Louis nicht erreichte, ehe die ganze Signalpause und die Elektropöe durch die 1049 Meilen Draht gegangen seyen. In dieser Hypothese würde der Durchgang durch 742 Meilen des Bodens mehr als eine Viertelsekunde einnehmen, und wir können nicht sagen, wie viel mehr.

der Voraussetzung abzuleiten, daſs die Erde die telegraphischen Signale leitete, würden für die Erde ein Leitvermögen geringer als das eines Eisendrahts ergeben, ein Resultat, welches im geradesten Widerspruch stände mit den Versuchen von Jacobi (Pogg Ann. Bd. 68 S. 483), Matteucci (De la Rive, *Archiv. de l'Electr. XVII.*, 157) und Baumgartner.

Nehmen wir aber an, die Erde könne unter den günstigsten Umständen Signale leiten wie es von einem Draht geschieht, so verdächtigen wir die Versuche von Mitchel (Astron. Journ. I. p. 43) und von Fizeau und Gounelle (*Compt. rend. XXX. p.* 437. — Diese Ann. Bd. 80 S. 158).

Digitized by Google

Das zweite Argument zur Stütze meiner Ansicht ist ebenfalls aus dem Versuch abgeleitet, und obgleich es nicht aus einer so directen Negation wie das erste besteht, so ist es doch in hinreichendem Grade von der Natur einer *reductio ad absurdum* um vielleicht mehr als das erste zu überzeugen. Es beruht auf dem Vergleich der Aufzeichungen der zu St. Louis und den näheren Stationen gemachten Signäle.

Nehmen wir an, die Signäle seyen zwischen Washington und St. Louis durch die Erde gegangen, so ist es leicht durch den Vergleich der Louisville- und St. Louis-Register die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Erdboden zu bestimmen. Das St. Louis-Register giebt in der gemachten Annahme eine Geschwindigkeit durch die Erde, welche die Fortpflanzungszeit für 742 engl. Meilen zwischen den Endpunkten gleich der machen würde, die zum Durchlaufen von 528 Meilen Draht erforderlich ist. Dieſs kommt darauf hinaus, wie wenn der Strom zwischen den Endpunkten mit derselben Geschwindigkeit wie in dem Draht ginge, allein durch eine Strecke von nur 528 engl. Meilen. Zur Bequemlichkeit des Ausdrucks will ich reden, wie wenn dieſs der Fall wäre. Das Resultat würde genau dasselbe seyn.

Wir haben dann beim Vergleich der verschiedenen Register zweierlei Fälle, solche, bei denen die Entfernung zwischen den Stationen durch den Draht die kürzere ist, und solche, wo die durch den Boden es ist. Wir wollen die Geschwindigkeit für die letzteren Fälle nach jeder Hypothese herleiten, und dann untersuchen, welche am besten übereinstimme mit der für diejenigen Fälle berechneten Geschwindigkeit, wo beide Hypothesen dasselbe Resultat geben.

Die folgende Tafel liefert das Material zu diesem Vergleich. Die erste Hypothese ist: daſs die Signäle allein durch den Draht wandern; die zweite: daſs sie den kürzeren Weg durch den Boden einschlagen. In der einen Columne sind die relativen Entfernungen nach beiden Hypothesen, in der anderen die daraus abgeleiteten Geschwindigkeiten enthalten. Aus den Widersprüchen zwischen den

Digitized by Google

abgeleiteten Geschwindigkeiten schlieſse ich, daſs die Unwahrscheinlichkeit der zweiten Hypothese auſserordentlich groſs ist.

Signal.	Register.	Relative Entfernung.		Entsprechende Geschwindigkeit.	
		Hypth. I.	Hypth. II.	Hypth. I.	Hypth. II.
St. L.	P.	576	59	12800	1311
P.	St. L.	576	59	10473	1073
St. L.	C.	1244	727	13097	7651
C.	St. L.	1244	727	17771	10386
St. L.	L.	1494	977	11405	7458
L.	St. L.	1494	977	13484	8817
St. L.	St. L.	2090	1055	14415	7283

Alle Resultate der Versuche, die von der Küsten-Vermessung zu Bestimmung der Geschwindigkeit des galvanischen Stroms gemacht worden, sind mir von meinem Freunde Hrn. Walker, dem Director dieser Unternehmung, gütigst zur Verfügung gestellt. Dieselben liefern das Material zu einer Reihe von Tafeln, welche die Herleitungen aus allen Versuchen enthalten. Stellt man in einer Tafel alle die Fälle zusammen, wo der Strom durch die Drähte gegangen seyn muſs, und in einer anderen alle diejenigen, wo der Erdboden einen Theil der kürzesten Kette ausmachte, so haben wir zwei Gleichungen mit zwei unbekannten Gröſsen, nämlich die Geschwindigkeit im Boden und die im Drahte. Bestimmt man die letztere unabhängig, so ergiebt sich die Geschwindigkeit aus all den Fällen, wo die Entfernung durch den Draht die kürzere ist, durch 26 verschiedene Vergleiche, die auf 768 Ablesungen beruhen, zu 15600 engl. Meilen in der Sekunde. Durch Substitution dieses Werthes in der anderen Gleichung, erhält man die Anzahl von Meilen Draht, welcher die Fortpflanzungszeit entspricht. Diese Gleichungen können mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate gebildet werden. Die Erörterung der Resultate aller Versuche der Küsten-Vermessung, namentlich derjenigen auf den Linien von Washington nach Cambridge, Washington nach Cincinnati

Washington nach Charleston, und Boston nach New-York zeigt, daſs die Voraussetzung einer Transmission durch den Erdboden mit einer constanten Geschwindigkeit die Uebereinstimmung der Beobachtungen nicht wesentlich erhöht. Wirklich liegt bei den Versuchen am 4. Febr. die einzige Anzeige einer Fortpflanzung durch den Erdboden in der Thatsache, daſs die aus den St. Louis-Beobachtungen hergeleitete Geschwindigkeit besser mit dem Mittel der übrigen Werthe in Uebereinstimmung gebracht werden kann, wenn man annimmt, die Signäle durchwanderten 1030 statt 1045 engl. Meilen. Der wahrscheinliche Fehler unserer Schätzung der Drahtlänge ist viel gröſser als dieses.

Die auf 920 Messungen beruhenden Fälle, bei denen der Weg durch den Boden der kürzere ist, belaufen sich auf 22. Die Geschwindigkeit, hergeleitet in der Annahme, daſs die Signäle durch den Boden wanderten, würde 11200 engl. Meilen in der Sekunde seyn.

Aus allen diesen Beobachtungen schlieſse ich, daſs bei den St. Louis- und Washington-Versuchen, welche unter allen die günstigsten zur Darlegung der Erscheinungen sind, die Signäle in keinem Falle durch den Erdboden fortgepflanzt wurden.

Sonach haben wir uns möglichst bemüht, alle Fehlerquellen, welche nicht vermieden werden können, in Rechnung zu ziehen, und alle, welche zu vermeiden sind, zu umgehen. Unsere aus verschiedenen Daten erhaltenen Resultate stimmen so gut mit einander, um es sehr unwahrscheinlich zu machen, daſs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des durch eine galvanische Batterie in den Telegraphendrähten erregten elektrischen Zustandes gröſser als 20000, und kleiner als 12000 engl. Meilen in der Sekunde sey.

Aus der Combination aller Küsten-Vermessungs-Versuche mit dem elektromagnetischen Telegraph habe ich mich bemüht, ein Maaſs der Geschwindigkeit abzuleiten, welches so zuverläſsig sey als es die Natur des Gegenstandes erlaubt. Der Temperatur-Unterschied an so aus einander

Digitized by Google

liegenden Stationen macht es unnütz eine Berichtigung wegen der Temperatur anzubringen, selbst wenn solche Verfeinerung von gleicher Gröſsenordnung mit den unvermeidlichen Fehlern unserer Messungen und, deshalb congruent mit deren Charakter wäre. Die Temperatur war in allen Fällen so niedrig wie der Frostpunkt; zu anderen Zeiten war die Isolation nicht vollkommen genug um eine Communication zwischen sehr entfernten Stationen zu erlauben. Die benutzten Entfernungen waren, nach Zusatz von zehn Procent, folgende in engl. Meilen:

Washington			
172	Philadelphia		
381	209	New-York	
850	469	260	Cambridge

Washington				
74	Harper's Ferry			
165	91	Cumberland		
309	235	144	Wheeling	
578	504	413	269	Cincinnati.

Washington nach Cambridge durch den Boden 380
Washington nach Cincinnati durch den Boden 403.

Die groſse Drahtlänge zwischen New-York und Philadelphia ist Folge der Entfernung, bis zu welcher die Linie den Hudson hinstreicht ehe sie einen Kreuzungsort findet.

Datum.	Endpunkt.	Geschwindigkeit.	Wahrscheinliche Fehler.
1849 Jan. 23	Cambridge	18000	150
» Oct. 31	Cincinnati	18330	124
1850 Febr. 4	St. Louis	14900	10
» Febr. 5	Charleston	16856	

Als wahrscheinlichster Werth ergiebt sich die Geschwindigkeit zu 15890 engl. Meilen in der Sekunde.

Hrn. Walker's Versuche mit dem elektrochemischen Telegraph am 8. Juli 1850 gaben für die Geschwindigkeit zwischen Boston und New-York (220 Meilen) 13333 Meilen in der Sekunde [1]). Der Draht in Bain's Telegraph ist jedoch von anderer Dicke (*size*) als auf den übrigen Linien, und ist zur Verhütung der Oxydation überzogen. Dürfen wir annehmen, die Signäle seyen am 5. Februar

1) Astron. Journ. I. 105.

Digitized by Google

und 8. Juli durch den Boden fortgepflanzt, so würden wir respective die Geschwindigkeiten 10690 und 10820 engl. Meilen pro Sekunde erhalten.

Uegeachtet die verschiedenen Resultate einander wechselseitig bestätigen, und sogar, in Betracht der zahlreichen Hindernisse und Fehlerquellen, eine merkwürdige Uebereinstimmung zeigen, ist es deſsungeachtet wahr, daſs die Beobachtungen noch besser dargestellt werden würden, wenn man annähme, die Geschwindigkeit sey verschieden in verschiedenen Theilen der Linie. Ist aber diese Annahme zuläſsig? Sie ist es, wenn wir voraussetzen dürfen, daſs die Geschwindigkeit von der Stromstärke abhängt, denn es waren an intermediären Stationen der Linie mehre Batterien eingeschaltet. Die kräftigste Batterie befand sich zu Pittsburg; sie bestand aus 50 Grove'schen Bechern, jeder von einer Pinte Gehalt. Der Vergleich der verschiedenen Geschwindigkeiten scheint anzudeuten, daſs die gröſste Fortpflanzungsgeschwindigkeit zwischen Pittsburg und Washington, so wie zwischen Pittsburg und Cincinnati stattfand; doch will ich hierauf gerade kein Gewicht legen. Um zu ermitteln, ob die Geschwindigkeit des Stroms dieselbe wäre, wenn zwischen der Signal- und Registrir-Station eine Batterie eingeschaltet würde, machte Hr. Walker eigends einen Versuch, wobei die Pittsburg-Signäle 10 Minuten lang fortgesetzt wurden, nachdem die Batterie zu Washington von ihrer Stelle zwischen der Boden-Verbindung und der Uhr nach einer zwischen der Uhr und Pittsburg gebracht worden war. Die Verschiedenheit der Fortpflanzungszeiten in diesen beiden Fällen war kaum wahrnehmbar, und rührte vermuthlich von den unvermeidlichen Fehlern der Ablesung her.

Acht Messungen auf den Pittsburg- und Cincinnati-Registern, wenn die Batterie nicht eingeschaltet war, gaben als Fortpflanzungszeit von Washington nach Pittsburg 0",03049. Bei Einschaltung der Batteire gaben 74 Messungen auf denselben Registern diese Zeit zu 0",03106.

Indeſs liefert dieſs keine Antwort auf die Frage, ob die

Geschwindigkeit eine Function der Stromstärke sey; denn diese Stärke kann schwerlich dadurch verändert werden, daſs man den Strom-Unterbrecher oder Registrir-Apparat von der einen auf die andere Seite der Batterie bringt.

Die zur Entwicklung des galvanischen Stroms erforderliche Zeit habe ich nicht in Rechnung gezogen, da sie, nach den Versuchen von Jacobi [1]), sicher eine Gröſse zweiter Ordnung ist, wenn man sie mit der Fortpflanzungszeit der elektrischen Kraft durch einen 1000 engl. Meilen langen Eisendraht vergleicht [2]).

Es giebt verschiedene Fälle, wo die Linie, welche die Uhrpause von der Signalpause trennt, der Uhrpause auf dem St. Louis-Register vorangeht, und der auf den Washington-Registern nachfolgt. Dieſs wurde zuerst von Hrn. Walker entdeckt [3]), welcher darin eine Anzeige sieht, daſs die durch Schlieſsen und Oeffnen der Kette erregten Wellen in entgegengesetzten Richtungen fortlaufen und einander ohne Interferenz durchkreuzen. Da die Theorie Denen anstöſsig ist, welche die elektrischen Phänomene als Aeuſserungen einer Polarkraft betrachten, so habe ich alle derartigen Fälle, die ich auffinden konnte, mit groſser Sorgfalt untersucht. In keinem derselben habe ich finden können, daſs der Abstand zwischen den Signalpausen auf den beiden Registern, auch nur approximativ, der Geschwindigkeit entspreche, welche der Vergleich derselben Register anzeigt. Das Intervall insgemein ist doppelt so groſs als es vermöge der Fortpflanzungszeit seyn würde. Ich bin genöthigt, die Erklärung des Phänomens aus einem ganz anderen Gesichtspunkt zu betrachten. Der St. Louis-Telegraphist drückte den Unterbrecher oft kurz hinter einander zwei Mal nieder; und es scheint, daſs, bei den in Rede stehenden Fällen, das Intervall zwischen diesen zwei consecutiven Signalpausen sehr nahe gleich war der Fort-

1) Pogg. Ann. Bd. 45 S. 23

2) Haldat, *Compt. rend. VI.* 52. De la Rive *Archiv. de l'Electr. III.* 288.

3) *Proceed. Americ. Assoc. Charleston* 1850 *p.* 124.

Digitized by Google

pflanzungszeit zwischen St. Louis und Washington, und daſs die eine Signalpause mit der Uhrpause zu St. Louis und die andere mit der Uhrpause zu Washington verwechselt wurde.

Zwei Umstände scheinen diese Ansicht zu unterstützen:

1) Die Länge der Uhrpause ist in allen diesen Fällen gröſser als der Mittelwerth und

2) Das Intervall zwischen der Uhr- und der Signalpause ist weder zu groſs noch zu klein, um dieser Hypothese zu entsprechen.

Es giebt verschiedene andere Punkte, welche ich gern erörtert haben würde; allein ich will mich darauf beschränken, eine einzelne sonderbare Thatsache anzuführen. Reducirt man die von Wheatstone für die Reibungs-Elektricität im Kupfer gefundene Geschwindigkeit auf Eisen, indem man sie multiplicirt mit dem Verhältniſs der Leitungsfähigkeiten beider Metalle, so erhält man für einen Eisendraht von demselben Durchmesser (1,75 Mllm.) bei der Temperatur 32° F. die entsprechende Geschwindigkeit 51096. Diese Geschwindigkeit steht zu der, welche wir gefunden, fast genau im umgekehrten Verhältniſs der Querschnitte der Leitungsdrähte.

Hoffentlich werden im künftigen Winter durch den Eifer des Oberaufsehers der Küsten-Vermessung und die Unermüdlichkeit des Hrn. Walker fernere Materialien eingesammelt. Das gröſsere Isolationsvermögen der Telegraphenstangen bei Frostwetter macht den Winter zur günstigsten Jahreszeit für die Anstellung solcher Versuche. Es ist ein Umstand, auf welchen wir Amerikaner gerechterweise stolz seyn dürfen, daſs, mit Ausnahme der von Mitchel und Fizeau, alle übrigen Telegraphenversuche zur Ausmittelung der Geschwindigkeit des galvanischen Stroms (eines für die Wissenschaft und für die Beurtheilung der Längenbestimmung durch telegraphische Beobachtungen so wichtigen Elements) unter der Superintendenz der Küsten-Vermessung der Union ausgeführt worden sind.

Bei künftigen Versuchen scheint es mir sehr wünschens-

Digitized by Google

werth, daſs zur Bewegung des die Aufzeichnung empfangenden Streifens oder Cylinders eine Maschine angewandt werde, die im Stande ist, mehre Zoll Papier pro Sekunde in einem leidlich gleichförmigen Gange zu liefern, daſs das Papier von möglichst feiner Beschaffenheit sey, und die Ajustirungen des Hubes und der Springfeder während der ganzen Dauer des Versuches unverändert bleiben. Auch sind fernere Versuche mit Bain's chemischem Telegraph wünschenswerth, sobald Mittel aufgefunden werden, um die Aufzeichnungen an jedem Ende der Linie durch eine und dieselbe Kette zu bewirken, was nicht unmöglich ist.

Die gewöhnlichen Telegraphendrähte haben, wie ich vernehme, eine solche Dicke, daſs eine engl. Meile 300 Pfd. wiegt. Die neue Linie, welche jetzt durch die Patent-Inhaber von House's wundervollem Druck-Telegraph zwischen Buffalo und New-York errichtet wird, besteht aus Drähten, welche 600 bis 800 Pfd. pro engl. Meile wiegen. Versuche auf dieser Linie würden von groſsem Nutzen seyn, indem sie bestimmen lieſsen, ob die Geschwindigkeit sich mit dem Querschnitt des Leitungsdrahts verändere.

IV. *Ueber die Polarisation der Wärme durch einfache Refraction; von den HH. F. de la Provostaye und P. Desains.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXX. p.* 159.)

In einer früheren Arbeit [1]) haben wir die Reflexion der polarisirten Wärme an Glas untersucht, und dabei erkannt, daſs Fresnel's theoretische Formeln, gleichwie sie die Verhältnisse des reflectirten Lichts ausdrücken, auch bei der Wärme Resultate geben, die vom Versuch vollkommen

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXVII. p.* 109. (Auszugsweise in d. Ann. Bd. 78 S. 128 und 131.)

bestätigt werden. Da diese Formeln für einfach brechende Substanzen explicite oder implicite Alles einschlieſsen müssen, was man über die Reflexion oder Refraction des Lichts und der Wärme, im natürlichen oder polarisirten Zustande, weiſs, so hielten wir es für zweckmäſsig, ihnen bei der Wärme eine neue und weitere Bestätigung zu geben. Wir haben daher gesucht, aus ihnen die durch eine oder mehre Glasplatten unter irgend einer Neigung hindurchgehende Wärmemenge mathematisch abzuleiten, und haben die dadurch erhaltenen Formeln alsdann durch zahlreiche Beobachtungen geprüft. Sie bestätigen unsere früheren Resultate und vervollständigen sie, denn die in Rede stehenden Erscheinungen hängen zugleich von der Reflexion und der Refraction ab.

Die Lösung des ersten Falls, welchen wir behandeln, ist einleuchtend; allein es ist nöthig, ihn zu betrachten, um Ordnung in unsere Auseinandersetzung zu bringen.

Reflexion und Refration an der Trennungsfläche zweier Mittel.

Denken wir uns, es falle ein Lichtbündel 1) unter dem Winkel i auf die ebene Oberfläche eines einfach brechenden Mittels, es sey in der Einfallsebene polarisirt und besitze die Intensität eins; endlich bezeichne R den Bruch $\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)}$, welcher nach Fresnel die reflectirte Lichtmenge ausdrückt. Die gebrochene Lichtmenge wird complementar und gleich $1-R$ seyn. Hier wird die Richtung der Schwingungen durch die Reflexion oder Refraction nicht geändert; folglich sind die beiden neuen Strahlen, wie der ursprüngliche, vollständig in der Einfallsebene polarisirt.

Wäre das auf die Fläche fallende Licht winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt, würde seine Intensität auch gleich eins genommen, und bezeichnete R' den Bruch $\frac{\tang^2(i-r)}{\tang^2(i+r)}$, welcher die Intensität des reflectirten Strahls

1) Was wir von dem Lichte sagen, gilt auch von der Wärme

Digitized by Google

ausdrückt, so hätte man $1-R'$ für die Intensität des gebrochenen Strahls und die Strahlen R' und $1-R'$ würden beide vollständig winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt seyn.

Reflexion und Refraction durch eine Platte oder zwei parallele Flächen.

Nehmen wir den in der Einfallsebene polarisirten Strahl und betrachten ihn nach seinem Durchgang durch die erste Oberfläche, wo seine Intensität auf $1-R$ reducirt ist. Er wird nun auf die zweite Fläche der Platte fallen, hier ist der Einfallswinkel r, der Brechungswinkel i und der reflectirte Bruch wird $\frac{\sin^2(r-i)}{\sin^2(r+i)}=R$. Folglich kehrt die Gröſse $(1-R)R$ zur ersten Fläche zurück. Ein Theil, gleich $(1-R)^2 R$ tritt aus und vereinigt sich mit einem unmittelbar vor aller Refraction reflectrirten Theil; ein anderer Theil, gleich $(1-R)R^2$ wird reflectirt, und geht auſs Neue zur zweiten Fläche, und so fort. Summirt man die, an Zahl unendlichen Strahlen, welche von der Platte reflectirt werden, so findet man:

$$R+(1-R)^2 R(1+R^2+R^4+\ldots)=\frac{2R}{1+R}.$$

Ebenso sieht man, daſs eine Summe $\frac{1-R}{1+R}$ von Strahlen zur Platte austritt; sobald man die Absorption vernachlässigt. Diese beiden Bündel, das reflectirte $\frac{2R}{1+R}$ und das durchgelassene $\frac{1-R}{1+R}$, sind beide vollständig in der Einfallsebene polarisirt.

Reflexion und Refraction durch eine Anzahl *n* paralleler Flächen.

Durch Fortsetzung einer analogen Schluſsfolgerung gelangt man dahin, die von n parallelen Flächen reflectirten

Digitized by Google

und durchgelassenen Lichtmengen zu bestimmen, und findet so, wenn man dieselbe Bezeichnung beibehält [1]).

Reflectirte Gesammtmenge. Einfallende Menge = 1.	Durchgelassene Gesammtmenge. Einfallende Menge = 1.
Licht oder Wärme, in der Einfallsebene polarisirt.	
(A) $\dfrac{nR}{1+(n-1)R}$	(B) $\dfrac{1-R}{1+(n-1)R}$
Licht oder Wärme, winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt.	
(A') $\dfrac{nR'}{1+(n-1)R'}$	(B') $\dfrac{1-R'}{1+(n-1)R'}$

Vergessen wir nicht, daſs die Bündel (A) und (B) vollständig in der Einfallsebene, und die (A') und (B') vollständig winkelrecht auf dieser Ebene polarisirt sind.

Experimentelle Bestätigung.

Bei dieser Herleitung der Ausdrücke (A), (B), (A') und (B') haben wir die Diffussion und Absorption ver-

1) Die Formeln (A) und (B), (A') und (B') kann man beweisen, indem man zeigt, daſs wenn sie für ($n-1$) Flächen richtig sind, sie es auch für n seyn müssen. Der ursprünglich in der Einfallsebene polarisirte Strahl nämlich, welcher, nachdem er durch $n-1$ Flächen gegangen ist, auf die n^{te} fällt, ist der Hypothese nach $=\dfrac{1-R}{1+(n-2)R}$, welchen Bruch wir gleich T setzen wollen. Der durch $n-1$ erste Fläche reflectirte Strahl ist $\dfrac{(n-1)R}{1+(n-2)R}$ und sey mit U bezeichnet. So findet man leicht, wenn man unendlich viele Reflexionen in Betracht zieht, daſs die durch die n^{te} Fläche gehende Lichtmenge ist:

$$\frac{T(1-R)}{1-UR}=\frac{T(1-R)[1+(n-2)R]}{1+(n-2)R-(n-1)R^2}$$
$$=\frac{T[1+(n-2)R]}{1+(n-1)R}=\frac{1-R}{1+(n-1)R}.$$

Ebenso würde man die von n Flächen reflectirte Lichtmenge finden, allein man kann sich der directen Aufsuchung derselben überheben, denn sie ist zu $\dfrac{1-R}{1+(n-1)R}$ complementar und gleich $\dfrac{nR}{1+(n-1)R}$. Und dieſs war zu beweisen.

Digitized by Google

nachläſsigt. Bei einem polirten Glase ist die Diffusion wohl wenig merklich; allein anders verhält es sich mit der Absorption, sie ist, bei der Wärme, oft sehr beträchtlich. Es ist uns gelungen, diese Schwierigkeiten zu beseitigen, indem wir 1) sehr reines und sehr dünnes Spiegelglas von St. Gobain nahmen, und 2) nur Wärme anwandten, die zuvor durch eine groſse Glasdicke gegangen war. Durch diese Vorsichtsmaſsregeln ist es uns gelungen, den Wärmeverlust äuſserst gering zu machen. Beweis davon ist, daſs wir, wenn wir die von einer oder mehren Platten reflectirten oder durchgelassenen Strahlen addirten, immer sehr nahe eine der directen Strahlung gleiche Wirkung erhielten. Um endlich die schon zu vernachläſsigenden Fehler noch mehr zu schwächen, nahmen wir zum Vergleichungspunkt, zur Einheit, nicht die Intensität der directen Strahlen, welche etwas zu stark gewesen seyn würde, sondern die Summe der Intensitäten der durchgelassenen und reflectirten Strahlen.

Die angewandte Wärme war die einer mit ihrem Schornstein versehenen Argand'schen Lampe. Ihre Strahlen fielen in 33 Centimet. Entfernung auf eine Glaslinse von etwa 14 Centimet. Brennweite; gleich darauf wurden sie gespalten durch ein achromatisches Kalkspathprisma, dessen Hauptschnitt, je nach dem Fall, horizontal oder vertical war. Eins der in einer bekannten Ebene polarisirten Bilder wurde mit einer zuvor zweckmäſsig geneigten Platte oder Glassäule aufgefangen, und der durchgelassene oder reflectirte Theil ging dann zur Säule des thermo-elektrischen Apparats. Die Ablenkungen des Galvanometers gaben das Maaſs der Intensitäten.

Wir stellen die beobachteten Intensitäten den durch die Formeln gegebenen gegenüber, und nehmen dabei für das Glas von St. Gobain und für die angewandte Wärme den Brechungsindex $=1{,}49$.

Wärme, in der Einfallsebene polariſirt.

Neigung der Platte oder Platten gegen die einfallenden Strahlen.	Intensität des durchgelassenen Strahls [1])	
	beobachtet	berechnet nach d. Formel $\frac{1-R}{1+(n-1)R}$.
	Versuche mit einer Platte.	
60° [2])	0,706	0,705
70	0,541	0,544
	Versuche mit zwei Platten.	
60	0,542	0,544
70	0,370	0,374
	Versuche mit drei Platten.	
50	0,586	0,583
60	0,439	0,444
70	0,282	0,285
	Versuch mit vier Platten [3]).	
60	0,396	0,374

Wärme,

1) Oder vielmehr: Verhältniſs dieser Intensität zur Summe der Intensitäten der reflectirten und durchgelassenen Strahlen.

2) Man stellte die Platten so, daſs sie successive zur Rechten und zur Linken 60° mit der Richtung des Bündels machten, und nahm das Mittel aus den in beiden Stellungen erhaltenen Resultaten. Ebenso verfuhr man in allen übrigen Fällen.

3) Wenn man eine groſse Anzahl von Platten anwendete, oder der Glassäule eine starke Neigung gäbe, würde es sehr schwierig seyn, alle reflectirten Strahlen mit der thermo-elektrischen Säule aufzufangen. Der Versuch gäbe alsdann intermediäre Resultate zwischen den von unseren Formeln angezeigten und denen, welche man fände, wenn man nicht unendlich viele Reflexionen in Rechnung zöge.

Digitized by Google

Wärme, winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt.

Neigung der Platte oder Platten gegen die einfallenden Strahlen.	Intensität des durchgelassenen Strahls beobachtet	Intensität des durchgelassenen Strahls berechnet nach d. Formel $\frac{1-R'}{1+(n-1)R'}$
	Versuche mit einer Platte.	
75°	0,802	0,806
	Versuche mit zwei Platten.	
75	0,676	0,675
	Versuche mit drei Platten.	
70	0,775	0,788
75	0,581	0,581

Natürliche Wärme. — Lothrechte Incidenz.

	Intensität des durchgelassenen Strahls beobachtet	Intensität des durchgelassenen Strahls berechnet
Eine Platte	0,92	0,92
Zwei Platten	0,855	0,857
Drei Platten	0,80	0,80
Vier Platten	0,73	0,75

Die Uebereinstimmung ist solche, daſs wir die Formeln (A), (B), (A') und (B') als vollständig durch den Versuch bestätigt ansehen können. Untersuchen wir jetzt einige der Folgerungen, zu denen sie führen können.

Theorem des Hrn. Arago über die Gleichheit der im reflectirten und im gebrochenen Strahl enthaltenen Mengen polarisirten Lichts.

Hr. Arago hat experimentell bewiesen, daſs wenn natürliches Licht auf eine *Glasplatte* mit parallelen Flächen fällt, beide Strahlen, der reflectirte und der durchgelassene, gleiche, gegen einander rechtwinklich polarisirte, Lichtmengen enthalten.

Andererseits sucht man in den Lehrbüchern denselben Satz theoretisch zu erweisen, indem man ihn aus den Fres-

nel'schen Formeln ableitet. Allein man hat es bloſs für den Fall gethan, daſs die Reflexion und Refraction durch eine einzige Fläche hervorgebracht worden sey. Nun behauptet Brewster in dem *Philosophical Transact. f.* 1830 *p.* 145 [1]), daſs der von Hrn. Arago gegebene experimentelle Beweis nothwendig unrichtig sey, *weil, wenn der Satz für eine Fläche richtig ist, er es nicht für eine Platte seyn könne.* Mittelst Schluſsfolgerungen, deren Wiederholung hier überflüssig seyn würden, glaubt er festzustellen, daſs Hr. Arago zwei Lichtmengen für gleich gehalten habe, welche, in gewissen Fällen, das Doppelte, Dreifache und selbst Vierfache von einander seyn können. Die Folgerung ist seltsam, aber das Raisonnement ist unrichtig. Hr. Brewster berücksichtigt in seinen Rechnungen nur eine oder zwei Reflexionen; er vergiſst, daſs es deren unendlich viele giebt. Nehmen wir die Frage in vollständiger Weise vor.

Fall einer Fläche [2]).

Natürliches Licht, welches auf eine Fläche fällt, kann betrachtet werden als bestehend aus zwei Bündeln von halber Intensität, polarisirt das eine in der Einfallsebene, und das andere winkelrecht darauf. Folglich ist die Gesammtmenge des reflectirten Lichts $=\frac{1}{2}(R+R')$, und die des gebrochenen $=\frac{1}{2}(1-R)+\frac{1}{2}(1-R')$.

Der Werth von R ist, wie auch i seyn möge, stets gröſser als der von R'; folglich ist im reflectirten Strahl das in der Einfallsebene polarisirte Licht vorherrschend. Das Umgekehrte gilt vom gebrochenen Strahl, weil $1-R'>1-R$. Man kann also den ersten als aus zwei Theilen gebildet ansehen, einen in der Einfallsebene polarisirten $\frac{1}{2}(R-R')$, und einen andern R', der sich wie natürliches Licht verhält. Ebenso kann man den gebrochenen Strahl als bestehend ansehen aus $\frac{1}{2}(1-R')-\frac{1}{2}(1-R)=\frac{1}{2}(R-R')$ von Licht welches winkelrecht gegen die Refractionsebene polarisirt

1) Ann. Bd. XIX, S. 281.

2) Da die Rechnung für diesen Fall schon bekannt ist, so wiederholen wir sie hier nicht.

Digitized by Google

ist, und $1-R$ natürlichen Lichts. Hier ist also, wie man sieht, das Theorem einleuchtend.

Fall einer Platte.

Die von einer Platte reflectirte Lichtmenge muſs seyn:

$$\frac{R}{1+R}+\frac{R'}{1+R'},$$

und die durchgelassene

$$\tfrac{1}{2}\left(\frac{1-R}{1+R}+\frac{1-R'}{1+R'}\right).$$

Da R gröſser ist als R', so ist auch das Glied $\frac{R}{1+R}$, welches im reflectirten Licht den in der Eimfallebene polarisirten Antheil vorstellt, gröſser als das Glied $\frac{R'}{1+R'}$, welches den winkelrecht darauf polarisirten Theil ausdrückt. Man kann daher die reflectirten Strahlen als bestehend ansehen aus einer Quantität $\frac{2R'}{1+R'}$ natürlichen Lichts und einer Quantität:

$$(\alpha)\ \ldots\quad \frac{R}{1+R}-\frac{R'}{1+R'}=\frac{R-R'}{(1+R)(1+R')}$$

von Licht, das in der Einfallsebene polarisirt ist.

Da ebenso $\frac{1-R'}{1+R'}$ gröſser ist als $\frac{1-R}{1+R}$, so kann man die durchgelassenen Strahlen betrachten als gebildet aus einer Quantität $\frac{1-R}{1+R}$ natürlichen Lichts und einer Quantität:

$$(\beta)\ \ldots\ \tfrac{1}{2}\left(\frac{1-R'}{1+R'}\right)-\tfrac{1}{2}\left(\frac{1-R}{1+R}\right)=\frac{R-R'}{(1+R)(1+R')}$$

eines winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirten Lichts.

Da die beiden Ausdrücke (α) und (β) gleich sind, so haben die Einwürfe des Hrn. Brewster durchaus keinen Grund.

Wir können nun weiter gehen und zeigen, daſs, wenn natürliches Licht auf eine Glassäule fällt, die in den durch-

Digitized by Google

gelassenen Strahlen enthaltene Menge von polarisirtem Licht gleich ist der in den reflectirten Strahlen vorhandenen.

Fall einer Glassäule.

Bezeichnen wir mit $\frac{1}{2}n$ die Zahl der Glasplatten, so daſs n eine gerade Zahl ist, welche die Anzahl der Oberflächen vorstellt. Dann hat man:

reflectirtes Bündel $\frac{1}{2}\left[\frac{nR}{1+(n-1)R}+\frac{nR'}{1+(n-1)R'}\right]$

durchgelassenes Bündel $\frac{1}{2}\left[\frac{1-R}{1+(n-1)R}+\frac{1-R'}{1+(n-1)R'}\right]$.

Die in dem ersten enthaltene polarisirte Lichtmenge ist

$$\frac{1}{2}\left[\frac{nR}{1+(n-1)R}-\frac{nR'}{1+(n-1)R'}\right]=\frac{\frac{1}{2}n(R-R')}{[1+(n-1)R][1+(n-1)R']}$$

und in dem zweiten

$$\frac{1}{2}\left[\frac{1-R'}{1+(n-1)R'}-\frac{1-R}{1+(n-1)R}\right]=\frac{\frac{1}{2}n(R-R')}{[1+(n-1)R][1+(n-1)R']}.$$

Mithin läſst sich das Theorem auf die allgemeinste Weise aussprechen.

Theorie der Glassäulen.

Die Theorie der Glassäulen liegt ganz in den Formeln

$$\frac{nR}{1+(n-1)R}\ \ldots\ (1);\qquad \frac{nR'}{1+(n-1)R'}\ \ldots\ (3)$$

$$\frac{1-R}{1+(n-1)R}\ \ldots\ (2);\qquad \frac{1-R'}{1+(n-1)R'}\ \ldots\ (4),$$

welche die reflectirten oder durchgelassenen Licht- oder Wärmemengen geben, je nachdem das einfallende Bündel in der Einfallebene oder in einer darauf winkelrechten Ebene polarisirt ist.

Wir wollen daraus ableiten: die Drehung der Polarisationsebene, welche eine Glassäule bewirkt, wenn man polarisirte Wärme auf dieselbe einfallen läſst; die totale Wärmemenge, welche reflectirt oder durchgelassen wird, wenn natürliche Wärme einfällt; und endlich die *absolute* und die *relative* Menge polarisirter Wärme, die in dem reflectirten und dem durchgelassenen Strahl enthalten ist.

Digitized by Google

Drehung der Polarisationsebene durch eine Glassäule, auf welche polarisirte Wärme einfällt.

Seyen α, φ und ψ die Winkel, welche die Ebene der ursprünglichen Polarisation und die Polarisationsebenen des reflectirten und des durchgelassenen Strahls mit der Reflexionsebene bilden, so findet man leicht mittelst der Gleichungen (1) und (2).

$$\text{tang}^2\varphi = \text{tang}^2\alpha \frac{R'}{R}\left[\frac{1+(n-1)R}{1+(n-1)R'}\right] \ldots (5)$$

und mittelst (3) und (4)

$$\text{tang}^2\psi = \text{tang}^2\alpha \left(\frac{1-R'}{1+R}\right)\left[\frac{1+(n-1)R}{1+(n-1)R'}\right] \ldots (6).$$

Da $\frac{R'}{R} = \frac{\cos^2(i+r)}{\cos^2(i-r)}$ kleiner als die Einheit ist, so ist leicht zu ersehen, daſs, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, die Polarisationsebene des reflectirten Strahls sich desto langsamer der Einfallsebene nähert, als die Säule eine gröſsere Anzahl von Platten enthält.

Die Relation (6), in welcher $\frac{1-R'}{1-R} = \frac{1}{\cos^2(i-r)}$ zeigt ebenso, daſs die Polarisationsebene des durchgelassenen Strahls sich desto schneller von der Refractionsebene entfernt, als die Anzahl der Platten gröſser ist.

Reflectirte und durchgelassene Licht- oder Wärmemengen, wenn natürliches Licht auf die Glassäule einfällt.

Wie schon gesagt, sind diese Gröſsen:

$$\tfrac{1}{2}\left[\frac{nR}{1+(n-1)R} + \frac{nR'}{1+(n-1)R'}\right] \ldots (7)$$

$$\tfrac{1}{2}\left[\frac{1-R}{1+(n-1)R} + \frac{1-R'}{1+(n-1)R'}\right] \ldots (8).$$

Aus (7) ergiebt sich leicht, daſs die reflectirte Lichtmenge mit der Anzahl der Platten wächst und, wenn diese Anzahl unendlich ist, gleich Eins wird, wie auch der Einfallswinkel seyn möge. Man muſs indeſs als mathematischen Fall den Winkel der vollständigen Polarisation ausnehmen.

Digitized by Google

Absolute Mengen polarisirter Wärme in dem reflectirten und durchgelassenen Strahl, wenn natürliche Wärme einfällt.

Der Ausdruck:

$$\frac{\frac{1}{2}n(R-R')}{[1+(n-1)R][1+(n-1)R']} \quad . \; . \; . \quad (9)$$

wurde schon erwähnt. Wir begnügen uns mit der Bemerkung, daſs ihm zufolge, für jede andere Incidenz als die der totalen Polarisation, die absolute Menge polarisirter Wärme abnimmt in dem Maaſse als die Anzahl der Platten wächst.

Verhältniſs von polarisirter Wärme in dem reflectirten und dem durchgelassenen Strahl, wenn natürliche Wärme einfällt.

Dieſs Verhältniſs ist in dem reflectirten Strahl

$$\frac{\frac{nR}{1+(n-1)R}-\frac{nR'}{1+(n-1)R'}}{\frac{nR}{1+(n-1)R}+\frac{nR'}{1+(n-1)R'}}=\frac{R-R'}{R+R'+2(n-1)RR'} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (10)$$

und in dem durchgelassenen Strahl

$$\frac{\frac{1-R'}{1+(n-1)R'}-\frac{1-R}{1+(n-1)R}}{\frac{1-R'}{1+(n-1)R'}+\frac{1-R}{1+(n-1)R}}=\frac{n(R-R')}{2+(n-2)(R+R')-2(n-1)RR'} \quad (11).$$

Wir haben das Verhältniſs der im reflectirten Strahl enthaltenen Menge polarisirter Wärme direct bestimmt, indem wir uns auf folgende Betrachtungen stützten.

Sey p die im reflectirten Strahl enthaltene Menge polarisirter Wärme und n die natürliche Wärmemenge, so kann man man den Ausdruck (10) schreiben $\frac{p}{p+n}$. Um den Werth dieses Bruchs zu finden, muſs man p und n kennen. Dahin gelangt man nun, wenn man den totalen reflectirten Strahl $=p+n$ mit einem Kalkspath auffängt und dessen Hauptschnitt successive parallel und winkelrecht zur Reflexionsebene stellt. Im ersten Fall ist die durchgelassene Menge $=k(p+\frac{1}{2}n)$, im zweiten $=k.\frac{1}{2}n$.

Digitized by Google

Dividirt man den Unterschied der Ablenkungen durch die Summe, so erhält man $\frac{p}{p+n}$.

Es hat uns in diesem Sommer an Zeit und besonders an Sonnenschein gefehlt, um diese Prüfung in mehr als drei Punkten vorzunehmen. Bei Anwendung von Sonnenstrahlen haben wir folgende Verhältnisse von polarisirter Wärme gefunden.

	Beobachtet.	Berechnet mit dem Index 1,52.
bei 80°	0,393	0,396
» 75	0,574	0,587
» 70	0,75	0,76.

Vor Erörterung des Ausdrucks (11), welcher das Verhältniſs der im durchgelassenen Strahl enthaltenen polarisirten Wärme giebt, wollen wir das in Erinnerung bringen, was sich hierüber in den Abhandlungen von Melloni vorfindet [1]). Es sind folgende Sätze:

1) Das Verhältniſs der von Säulen (durch Transmission) polarisirten Wärme ist desto gröſser, als der Winkel, unter welchem die Strahlen ihre Oberfläche treffen, kleiner ist.

2) In Säulen aus einer hinreichenden Zahl von Platten erreicht die Wärmepolarisation bei einem gewissen Neigungswinkel einen Maximum-Effect, welchen sie hernach bei allen kleineren Neigungen, welche die Strahlen mit den Platten bilden können, bewahrt.

3) Die Neigung, (immer gezählt von der Oberfläche) bei welcher der unveränderliche Effect sich zu zeigen anfängt, wächst mit der Zahl der Platten, aus welcher die Säule besteht.

Folgendes sind unsere Sätze:

Erster. — Wenn die Säule auf eine einzige Platte reducirt ist, wächst die polarisirte Licht- oder Wärme-Proportion [2])

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. II. T. LXV. p.* 30.

2) Wir müssen bemerken, daſs wir hier den Ausdruck *polarisirte Wärme-Proportion* im gewöhnlichen Sinne nehmen, in dem von Fresnel und von den meisten Physikern gebrauchten. Hr. Melloni giebt eine andere Definition, hinsichtlich deren wir auf die *Ann. de chim. et de phys. Ser. II. T. LXV. p.* 26 verweisen.

Digitized by Google

in dem durchgelassenen Strahl bis zum Winkel $i=90^\circ$, gezählt von der Normale. Bezeichnet λ den Index, so ist sie dann $\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2+1}=0{,}3958$ für $\lambda=1{,}52$.

Zweiter. — Diese Proportion ist für $i=90^\circ$ immer dieselbe, wie groſs auch die Anzahl der Platten sey.

Dritter. — Sobald man eine aus mehren Platten gebildete Säule anwendet, hat die polarisirte Wärme-Proportion in dem durchgelassenen Strahl ein wahrhaftes Maximum. Dieses Maximum liegt

für zwei Platten bei $i=77^\circ\,51'$
» drei » » $i=74^\circ\,41'$
» zehn » » $i=64^\circ\,52'$.

Für zehn Platten beträgt das Maximum-Verhältniſs 0,7028.

Vierter. — In dem Maaſse als man die Zahl der Platten vermehrt, nähert sich der Winkel, bei welchem die polarisirte Proportion ein Maximum ist, immer mehr dem Winkel der vollständigen Polarisation, und das Maximum selbst immer mehr der Einheit.

Hier den Beweis dieser Sätze:

In dem durchgelassenen Strahl wird die polarisirte Wärme-Proportion gegeben durch den Bruch:

$$\frac{n(R-R')}{2+(n-2)(R+R')-2(n-1)RR'}.$$

Zur Abkürzung wollen wir ihn mit P bezeichnen. Sey

$$\sin^2(i-r)=x^2;\ \sin^2(i+r)=y^2$$

so kann man schreiben:

$$R=\frac{x^2}{y^2};\quad R'=\frac{x^2(1-y^2)}{y^2(1-x^2)}.$$

Nach Substitution, Reduction und Fortschaffung des dem Nenner und Zähler gemeinschaftlichen Factors y^2-x^2 findet man

$$P=\frac{n x^2 y^2}{2(y^2-x^2)+n x^2(2-y^2)} \quad \ldots \quad (1).$$

Für $n=\infty$ reducirt sich P auf $\frac{y^2}{2-y^2}=\frac{\sin^2(i+r)}{2-\sin^2(i+r)}$,

dessen Maximum dem Werthe $i+r=90°$ d. h. dem Winkel der vollständigen Polarisation entspricht, und gleich eins ist. Hierdurch ist der vierte Satz bewiesen.

Für $i=90°$ hat man $y=x$. In diesem Fall, und wie auch n seyn möge, reducirt sich also der Werth von P auf $\frac{y^2}{2-y^2}$. Bezeichnet man den Index mit λ, so hat man für $i=90°$

$$\sin r=\frac{1}{\lambda},\ y^2=\sin^2(90+r)=\cos^2 r=\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2}.$$

Der Bruch $\frac{y^2}{2-y^2}$ wird $\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2+1}$. Dieſs rechtfertigt den zweiten Satz.

Um weiter zu gehen, nehmen wir mit dem durch die Gleichung (1) gegebenen Werth von P eine neue Transformation vor. Wir setzen

$$\sin i=u;\ \sin r=v$$

dann hat man:

$$x=u\sqrt{1-v^2}-v\sqrt{1-u^2};\ y=u\sqrt{1-v^2}+v\sqrt{1-u^2}$$

woraus

$$x^2y^2=(u^2-v^2)$$
$$y^2-x^2=4uv\sqrt{1-u^2}\,.\sqrt{1-v^2}$$
$$2x^2-x^2y^2=2(u^2+v^2)-(u^2+v^2)^2-4uv\sqrt{1-u^2}\,.\sqrt{1-v^2}.$$

Durch Substitution in (1) findet man:

$$P=\frac{n(u^2-v^2)^2}{n(u^2+v^2)[2-(u^2+v^2)]-(n-2)4uv\sqrt{1-u^2}\,.\sqrt{1-v^2}}$$

und da $v=\frac{u}{\lambda}$, so hat man, nach Substitution und Reduction, die Gleichung (2)

$$P=\frac{nu^2(\lambda^2-1)^2}{n(\lambda^2+1)[2\lambda^2-u^2(\lambda^2+1)]-(n-2)4\lambda^2\sqrt{1-u^2}\,.\sqrt{\lambda^2-u^2}}.$$

Wenn $n=2$, verschwindet das zweite Glied des Nenners; nun wächst u^2 mit i, folglich nimmt der Zähler zu und der Nenner ab in dem Maaſse als sich u der Einheit nähert. Für $i=90°$, ist $u=1$ und $P=\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2+1}$, was wir in dem ersten Satz ausgesprochen haben.

Digitized by Google

Wenn $n > 2$ giebt es ein Maximum. Differentirt man (2) und setzt den Differentialquotienten gleich Null, so findet man, daſs es statt hat, wenn:

$$n(\lambda^2+1)\sqrt{1-u^2}\sqrt{\lambda^2-u^2}=(n-2)[2\lambda^2-u^2(\lambda^2+1)] \quad (3)$$

und folglich, daſs der Maximum-Werth ist:

$$\frac{n^2u^2(\lambda^2+1)(\lambda^2-1)^2}{[n(\lambda^2+1)^2-4\lambda^2(n-2)^2][2\lambda^2-u^2(\lambda^2+1)]} \ldots (4).$$

Der dem Maximum entsprechende Werth von u ist durch die biquadratische Gleichung (3) gegeben. Ersetzt man darin n und λ durch particuläre Zahlenwerthe, so erhält man eine Gleichung, die den dem Maximum entsprechenden Werth von u oder $\sin i$ kennen lehrt. Auf diese Weise hat man die in dem dritten Satz angezeigten Winkel gefunden.

Parallele oder gekreuzte Glassäulen.

Wenn ein Bündel natürlicher Wärme, mehr oder weniger geneigt, auf eine Glassäule fällt, kann, wie wir gesehen, die Intensität des ausfahrenden Strahls durch $\frac{1}{2}(\varrho+\varrho')$ dargestellt werden, wenn man setzt:

$$\frac{1-R}{1+(n-1)R}=\varrho \text{ und } \frac{1-R'}{1+(n-1)R'}=\varrho'.$$

Auch haben wir gesagt, daſs der darin enthaltene Antheil polarisirter Wärme ausgedrückt wird durch $\frac{\varrho'-\varrho}{\varrho'+\varrho}$.

Um den Werth dieses letzteren Verhältnisses zu bestimmen, kann man folgende Methode anwenden.

Man stelle hinter der ersten Glassäule, nicht im Contact mit ihr, sondern in einiger Entfernung, eine zweite, ihr vollkommen ähnliche unter gleicher Neigung auf und gebe den Refractionsebenen successive die parallele und die gegen einander winkelrechte Lage. In der ersten Lage wird die durch beide Säulen gehende Wärmemenge seyn: $\frac{1}{2}(\varrho^2+\varrho'^2)$; in der zweiten: $\varrho\varrho'$. Dividirt man den Unterschied dieser Gröſsen durch ihre Summe, so erhält man $\left(\frac{\varrho'-\varrho}{\varrho'+\varrho}\right)^2$, wovon die Quadratwurzel der gesuchte Ausdruck

ist, welcher kennen lehrt, wie groſs in dem zur ersten Säule ausfahrenden Bündel das Verhältniſs der polarisirten Wärme $\frac{1}{2}(\varrho' - \varrho)$ zur gesammten Wärme $\frac{1}{2}(\varrho' + \varrho)$ ist.

Reflexion und Refraction der Wärme und des Lichtes durch parallele Trennungsflächen mehrer in Contact stehender Mittel von verschiedener Natur.

Wir haben hier besonders die zwischen sehr dünne Glasplatten eingeschlossenen Flüssigkeiten im Auge, wollen indeſs zunächst die allgemeinen Formeln angeben.

Wir nehmen die Fresnel'schen Formeln an und setzen folglich voraus, daſs sie für den Fall gelten, wo das Licht aus einem Mittel in ein anderes übergeht, sobald man in der Relation zwischen den Winkeln des Einfalls und der Brechung einen zweckmäſsigen Index annimmt. Wir bezeichnen wieder mit R und R' die Werthe, welche die Brüche:

$$\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} \text{ und } \frac{\tan^2(i-r)}{\tan^2(i+r)}$$

an der ersten Oberfläche annehmen, und durch:

$$R,\ R_1,\ R_2,\ R_3\ \ldots\ldots$$
$$R',\ R_1',\ R_2',\ R_3'\ \ldots\ldots$$

was aus diesen Brüchen an den folgenden Flächen wird:

Ohne Schwierigkeit findet man:

Licht oder Wärme, in der Einfallsebene polarisirt.

Reflectirt von zwei Flächen: $\dfrac{R+R_1-2RR_1}{1-RR'}$.

Durchgelassen von zwei Flächen: $\dfrac{(1-R)(1-R_1)}{1-RR_1}$.

Reflectirt von drei Flächen:

$$\frac{R+R_1+R_2-2(RR_1+RR_2+R_1R_2)+3RR_1R_2}{1-(RR_1+RR_2+R_1R_2)+2RR_1R_2}.$$

Durchgelassen von drei Flächen:

$$\frac{(1-R)(1-R_1)(1-R_2)}{1-(RR_1+RR_2+R_1R_2)+2RR_1R_2}.$$

Setzt man alsdann

$$R+R_1+R_2+\ldots\ldots+R_{n-1}=\Sigma R.$$

Digitized by Google

Die Summe der Combinationen zu zweien

$$RR_1+RR_2+\;..\;+RR_{n-1}+R_1R_2+\;..\;=\Sigma RR_1.$$

Die Summe der Combinationen zu dreien

$$RR_1R_2+RR_1R_3+\ldots RR_1R_{n-1}+R_1R_2R_3+\ldots=\Sigma RR_1R_2$$

so findet man

die von n Flächen reflectirte Menge (1)

$$\frac{\Sigma R-2\Sigma RR_1+3\Sigma RR_1R_2-4\Sigma RR_1R_2R_3+..\pm nRR_1..R_{n-1}}{1-\Sigma RR_1+2\Sigma RR_1R_2-3\Sigma RR_1R_2R_3+..\pm(n-1)RR_1R_2..R_{n-1}}.$$

Die von n Flächen durchgelassene Menge (2)

$$\frac{(1-R)(1-R_1)(1-R_2)\ldots(1-R_{n-1})}{1-\Sigma RR_1+2\Sigma RR_1R_2-3\Sigma RR_1R_2R_3+..\pm(n-1)RR_1R_2..R_{n-1}}.$$

Wäre das einfallende Licht winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt, würden die Formeln genau von derselben Form seyn. Nur müſste in (1) und (2) $R, R_1..R_{n-1}$ durch $R', R'_1..R'_{n-1}$ ersetzt werden.

Macht man in den beiden ersten Formeln

$$R=R_1=R_2=\;...\;=R_{n-1}$$

und in den beiden letzten

$$R'=R'_1=R'_2=\;...\;=R'_{n-1}$$

so kommt man auf die Ausdrücke zurück, die eingangs dieser Abhandlung für parallele, durch Luftschichten getrennte Glasplatten gegeben wurden.

Im Fall man eine zwischen zwei Glasplatten eingeschlossene Flüssigkeit betrachtet, hat man:

$$R_3=R,\quad R_2=R_1$$
$$R'_3=R',\quad R'_2=R'_1$$

Ist das einfallende Licht in der Einfallsebene polarisirt, so wird die durchgelassene Menge

$$\frac{(1-R)^2(1-R_1)^2}{1-4RR_1-R^2-R^2_1+4RR^2_1+4R^2R_1-3R^2R^2_1}.$$

Will man endlich die Licht- oder Wärmemenge bestimmen, die, abgesehen von der Absorption, bei lothrechter Incidenz vom Wasser durchgelassen wird, so setze man

$$R=\frac{1}{25}=0{,}04,\quad R_1=\frac{1}{289}=0{,}0034671$$

Digitized by Google

und nach gemachter Substitution findet man dann für die durchgelassene Menge 0,917. Daraus folgt, daſs man die an den Berührungsflächen von Glas und Wasser stattfindenden Reflexionen vernachlässigen kann, und nur diejenigen zu berücksichtigen braucht, welche an der Ein- und Austrittsfläche erfolgen.

Da bei allen Flüssigkeiten die Gröſse R_1, welche an der Trennungsfläche zwischen ihnen und dem Glase reflectirt wird, sehr klein ist, so gelangt man auch für alle zu einem ähnlichen Schluſs.

V. *Ueber die Reflexion der Wärme; von F. de la Provostaye und P. Desains.*

(Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXX. 276.)

In einer der Academie am 19. April 1847 vorgelegten Abhandlung haben wir gezeigt, in welchen Verhältnissen die Strahlen einer Locatelli'schen Lampe von einer groſsen Anzahl verschiedener Metalle reflectirt werden. In einer anderen Mittheilung haben wir dargethan, daſs, den herkömmlichen Meinungen zuwider, das Reflexionsvermögen eines bestimmten Spiegels sich mit der Natur der Quelle verändern kann. Später haben wir die Reflexion der gesammten Sonnenwärme, nachdem sie durch Kalkspäthe polarisirt worden, untersucht und gezeigt, daſs die Formeln von Fresnel beim Glase, und die von Cauchy bei den Metallen alle Phänomene der Wärme eben so gut wie die des Lichtes ausdrücken. Gegenwärtig wollen wir das Resultat der zahlreichen Versuche aus einander setzen, welche wir angestellt, um unsere Forschungen über diesen wichtigen Punkt der strahlenden Wärme zu erweitern und zu vervollständigen. Wir haben uns vorgenommen:

Digitized by Google

1. Die Reflexion der Wärme zu studiren, welche die durch Dispersion möglichst vereinfachten Sonnenstrahlen begleitet.

2. Analoge Versuche, wie wir bereits über die Sonnenwärme* veröffentlicht haben, mit polarisirter Lampenwärme anzustellen.

3. Eine Erklärung zu suchen, weshalb Wärmestrahlen von gleicher Intensität, aber von verschiedener Herkunft, an einem und demselben Spiegel Reflexionen von ungleicher Gröſse erleiden.

Reflexion von homogenen Sonnenstrahlen.

Wir haben geglaubt mit Sonnenstrahlen von vollkommen bestimmtem Brechungsindex die Versuche wiederholen zu müssen, welche wir bereits über die Reflexion der gesammten und polarisirten Sonnenwärme anstellten. Bei diesen Versuchen haben wir meistens Spiegel von Platin oder Spiegelmetall, zuweilen einen von Stahl angewandt, und Strahlen vom rothen Ende eines intensiven Spectrums genommen, welches so rein war, daſs man die Fraunhofer'schen Linien deutlich unterscheiden konnte. Der polarisirende Apparat bestand, wie früher, aus einem achromatischen Kalkspathprisma. Wir geben hier die erhaltenen Resultate.

Wärme vom rothen Ende des Spectrums, polarisirt parallel der Einfallsebene.

Einfallswinkel.	Intensität der Reflexion an		
	Stahl.	Spiegelmetall.	Platin.
30°		0,65	0,65
50		0,74	0,72
70			
72½		0,87	
76			0,856

Wärme vom rothen Ende des Spectrums, winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt.

30°	0,53	0,62	0,588
50		0,577	0,51
70	0,266		0,427
72½		0,426	
76			0,40
80		0,446	

Digitized by Google

Beim Spiegelmetall und Stahl können die Zahlen als identisch betrachtet werden mit denen, welche wir im vorigen Jahr mit der gesammten Sonnenwärme erhalten haben. Diese unerwartete Thatsache findet ihre Erklärung im Verlauf dieser Abhandlung, allein für jetzt kann man sich merken, dafs daraus eine neue Bestätigung der Genauigkeit hervorgeht, mit welcher die Formeln des Hrn. Cauchy die Phänomene der Wärmereflexion darstellen [1]). Was die beim Platin erhaltenen Zahlen betrifft, so übersteigen

1) Wir halten es nicht für überflüssig, hier diese Formeln anzuführen. Seyen J^2 und I^2 die Intensitäten des reflectirten Lichts, je nachdem es in der Einfallsebene oder winkelrecht darauf polarisirt ist, dabei die des einfallenden Strahls gleich eins gesetzt. Man kann I^2 und J^2 in Function des Einfallswinkels und zweier Constanten ϑ und ε bestimmen, mittelst der folgenden Relationen:

$$(1)\ \ldots\ I^2 = \mathrm{tang}(\varphi - 45^\circ); \qquad (2)\ \ldots\ J^2 = \mathrm{tang}(\chi - 45^\circ)$$

$$(3)\ \ldots\ \cot\varphi = \cot(2\varepsilon - v)\sin\left(2\,\mathrm{arc\,tang}\frac{U}{\vartheta^2\cos i}\right)$$

$$(4)\ \ldots\ \cot\chi = \cos v \sin\left(2\,\mathrm{arc\,tang}\frac{\cos i}{U}\right)$$

$$(5)\ \ldots\ \cot(2v - \varepsilon) = \cot\varepsilon\cos\left(2\,\mathrm{arc\,tang}\frac{\sin i}{\vartheta}\right)$$

$$(6)\ \ldots\ \vartheta^2\sin 2\varepsilon = U^2\sin 2v.$$

Wir haben es bisweilen vortheilhaft gefunden, sie zu transformiren und auf die folgenden vier Relationen zu reduciren:

$$(1)\ \ldots\ J^2 = \frac{U^2 + \cos^2 i - 2U\cos i\cos v}{U^2 + \cos^2 i + 2U\cos i\cos v}$$

$$(2)\ \ldots\ I^2 = \frac{U^2 + \vartheta^4\cos^2 i - 2U\vartheta^2\cos i\cos(2\varepsilon - v)}{U^2 + \vartheta^4\cos^2 i + 2U\vartheta^2\cos i\cos(2\varepsilon - v)}$$

$$(3)\ \ldots\ U^2 = \vartheta^2\frac{\sin 2\varepsilon}{\sin 2v}$$

$$(4)\ \ldots\ \mathrm{tang}\,2v = \frac{\vartheta^2\sin 2\varepsilon}{\vartheta^2\cos 2\varepsilon - \sin^2 i},$$

welche meistens und besonders, wenn i nicht zu grofs ist, so geschrieben werden können

$$U = \vartheta; \quad v = \varepsilon$$

$$J^2 = \frac{\vartheta^2 + \cos^2 i - 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}{\vartheta^2 + \cos^2 i + 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}; \qquad I^2 = \frac{\vartheta^2\cos^2 i + 1 - 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}{\vartheta^2\cos^2 i + 1 + 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}.$$

Digitized by Google

sie im Allgemeinen bei weitem die, welche wir für die das weiſse Licht begleitende Wärme erhalten haben. Diese Unterschiede rühren ohne Zweifel nicht von der Natur der Wärme, sondern von dem Zustand der angewandten Spiegel her. Derjenige, der zu unseren letzten Versuchen diente, war von massivem ziemlich schön polirtem Platin; der andere dagegen war von platinirtem Kupfer und er zeigte viele Diffusion. In der Abhandlung, auf welche wir hier verweisen [1]) haben wir bereits die Unvollkommenheit dieses Platinspiegels hervorgehoben, allein es stand uns damals kein anderer zu Gebote.

Die Versuche, welche wir nun anführen wollen, beabsichtigen zu sehen, wie sich das Reflexionsvermögen eines Metalls bei gleichbleibender Incidenz verändert, wenn man den Grad der Brechbarkeit der Strahlen variirt.

Unpolarisirte Wärme, reflectirt beim Einfallswinkel 70°.

Strahlen vom	Intensität der Reflexion an				
	Stahl.	Platin.	Zink.	Spiegelmetall	Messing.
grünen Theil des Spectrums		0,59	0,65	0,58	0,63
rothen Theil		0,60	0,60	0,65	0,75
dunklen Theil, weit ab vom Roth	0,75				0,90

Auf bloſsen Anblick dieser Tafel bemerkt man, daſs bei gewissen Metallen, z. B. Messing, die Intensität der Reflexion sich sehr mit dem Grade der Brechbarkeit der angewandten Strahlen verändert. Bei anderen dagegen, beim Stahl und Platin z. B., werden Strahlen von allen Theilen des sichtbaren Spectrums in gleichem Verhältniſs reflectirt; allein man sieht auch, daſs trotz dieser Unterschiede, bei allen den von uns studirten Spiegeln die Reflexion sehr zunimmt, sobald man Wärmestrahlen anwendet, die aus dem dunklen Theil des Spectrums, in beträchtlicher Entfernung vom Roth genommen worden sind.

Erinnert man sich nun, um das beobachtete Phänomen mit

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXVII. p.* 124.

Digitized by Google

mit dem entsprechenden der Optik zu vergleichen, der Abhandlung, worin Hr. Jamin nachweist, in welchem Verhältniſs die Lichtstrahlen aus verschiedenen Theilen des Spectrums an verschiedenen Metallen reflectirt werden, so sieht man wiederum jene Identität bestätigt, der man rücksichtlich der Theorie des Lichts und der der Wärme auf allem und jedem Schritt begegnet. Hr. Jamin nämlich hat unter anderen folgende Resultate erhalten:

	Intensität der Lichtreflexion an		
	Spiegelmetall.	Messing.	Zink.
Grüne Strahlen	0,62	0,62	0,62
Rothe Strahlen	0,69	0,72	0,58

Die Unterschiede zwischen diesen und den unserigen Zahlen sind nur gering und sie verwischen keineswegs die vollständige Aehnlichkeit beider Phänomene.

In dem durch unsere Apparate gebildeten Spectrum lag das Wärmemaximum nach dem rothen Ende hin. In dem Blau und der entsprechenden dunklen Zone war die Wärme-Intensität nur schwach. Sobald also das Reflexionsvermögen des Spiegels sich nicht sehr rasch mit dem Brechbarkeitsgrade der Strahlen veränderte, muſste es für die gesammte Wärme und für die das Roth begleitende gleich seyn. Dieſs war, wie wir oben gezeigt haben, beim Stahl und Spiegelmetall der Fall; allein man begreift, daſs es bei anderen Metallen anders seyn könnte.

Polarisation und Reflexion der Wärme von Lampen mit doppeltem Luftzug.

Es schien uns interessant mit Lampenwärme die Versuche zu wiederholen, welche wir mit Sonnenwärme angestellt hatten. Die erste Schwierigkeit war hier die, mit solchen Wärmequellen Bündel von wenig divergirenden und vollständig polarisirten Strahlen zu erhalten, die hinreichend stark seyen, um meſsbare Wirkungen am Thermoskop zu geben. Wir sind dahin auf folgende Weise

Digitized by Google

gelangt. Eine gute Moderator-Lampe wurde $0^m,34$ entfernt von einer etwas grofsen Linse von $0^m,17$ Brennweite aufgestellt, und dicht hinter der Linse ein Kalkspathprisma von etwas enger Oeffnung angebracht, das in dem Abstande von $0^m,27$ zwei völlig getrennte Bilder gab. Das eine derselben wurde vernachlässigt, das andere aber mit der Säule aufgefangen, entweder direct oder nach der Reflexion. Bei unseren Versuchen war die Wärme-Intensität dieses Bildes grofs genug, um vor der Reflexion eine Ablenkung von 20 bis 25 Abtheilungen in unserem thermoskopischen Apparat hervorzubringen. Folgende Tafel enthält die Resultate, zu denen wir gelangten.

Wärme der Lampe mit doppeltem Luftzug, parallel der Einfallsebene polarisirt.

Einfallswinkel	Reflectionsvermögen des Spiegelmetalls.	Stahls.	Platins.	Zinns.	Zinks.	Silbers.	Messings.
30°	0,70; 0,73	0,69	0,677; 0,698	0,69	0,685		0,875
50	0,765; 0,78	0,77	0,77; 0,77				0,88
60	0,82			0,785			
70	0,847; 0,86	0,87	0,837	0,837			0,887
76	0,885; 0,895	0,90	0,865	0,888	0,835	0,98	0,895

Dieselbe Wärme, winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt.

Einfallswinkel	Spiegelmetalls.	Stahls.	Platins.	Zinns.	Zinks.	Silbers.	Messings.
30°	0,665; 0,70	0,62	0,655; 0,685	0,634	0,675		0,81
50	0,624; 0,65	0,55	0,62; 0,648	0,62	0,655		0,788
60	0,60			0,60			
70	0,50; 0,52	0,42	0,527	0,545	0,60		0,733
76	0,425; 0,46	0,55	0,44; 0,46	0,495	0,555	0,859	0,72

Man findet hier immer bei dem Phänomen denselben allgemeinen Gang. Bei der in der Einfallsebene polarisirten Wärme nimmt die Gröfse der Reflexion mit dem Winkel zu. Bei der darauf winkelrecht polarisirten Wärme nimmt sie ab bis 76°. Es war uns nicht möglich bei stärkeren Incidenzen zu beobachten; sonst würden wir ohne Zweifel die Intensität von Neuem haben wachsen sehen. Das Reflexionsvermögen des Messings variirt wenig mit der Incidenz. Das Platin nähert sich sehr dem Stahl und Zinn. Ueberall sind die Reflexionen intensiver als bei der ge-

Digitized by Google

sammten Sonnenwärme. Versucht man endlich die Beobachtungen durch Hrn. Cauchy's Formeln darzustellen, so gelingt dieſs beim Stahle immer ohne alle Mühe; allein bei den übrigen Metallen kommt man nicht zu so befriedigenden Resultaten. Der Homogenitätsmangel der angewandten Wärme und die Unvollkommenheit der Politur, welche, Stahl und Bronze abgerechnet, die Metalle annehmen, sind hinreichend den Unterschied zu erklären. Die letztere Ursache ist sehr einfluſsreich; es entspringt daraus eine Diffusion, welche die Intensität der regelmäſsigen Reflexion, besonders bei kleinen Incidenzen, verringert.

Wir fügen hinzu, daſs bei Anwendung von Lampen mit Zugröhren, die Stellung dieser und die gröſsere oder geringere Höhe des Dochts die Bedingungen zur Verbrennung abändern, und in der Natur der Wärme Veränderungen herbeiführen, welche entsprechende in der Gröſse der Reflexion nach sich ziehen. Bei successiven Versuchen mit einem und demselben Metall muſs man also darauf sehen, die Flamme in identische Umstände zu versetzen; sonst erhält man etwas abweichende Reihen, wie wir sie bei dem Platin und dem Spiegelmetall angegeben haben.

Von den Verschiedenheiten des Reflexionsvermögens eines und desselben Metalls für Wärmestrahlen aus verschiedenen Quellen.

Die Zahlen in der Tafel des vorhergehenden Abschnitts geben durch das einfache Mittel die Reflexionsvermögen der angewandten Metalle für die natürliche Wärme der Moderator-Lampe. Wir setzen sie hieher, unter Hinzufügung des direct bestimmten von sehr glänzender Silberplattirung.

Natürliche Wärme der Lampe.

Einfallswinkel.	Reflexionsvermögen des Spiegelmetalls.	Stahls.	Platins.	Zinns.	Zinks.	Silbers.	plattirt Silbers.	Messings.
30°	0,68; 0,71	0,655	0,666; 0,69	0,662	0,68		0,96	0,84
50	0,695; 0,71	0,66	0,695; 0,71					0,835
60	0,71			0,692				
70	0,673; 0,69	0,645		0,691			0,97	0,81
76	0,655; 0,68	0,72	0,652	0,691	0,695	0,92		0,817

Digitized by Google

Man sieht: 1) daſs zwischen 30° und 76° der Werth des Einfallswinkels nur wenig Einfluſs auf die Gröſse der Reflexion hat; 2) daſs hier alle Zahlen gröſser sind als die entsprechenden bei der Sonnenwärme, und kleiner als die bei der Locatellischen Lampe. Eine noch gröſsere Reflexion erhielten wir, als wir eine Lampe mit gesalzenem Alkohol als Wärmequelle nahmen. Die Wärme dieser Lampe scheint nicht homogen zu seyn, aber in der Gesammtheit genommen reflectirt sie sich an Messing, Stahl und Platin im Verhältniſs 94, 88 und 86 zu 100. Endlich reflectirt Messing 94,5 und Platin 89,5 Proc. von der dunklen Wärme, welche eine bis etwa 400° C. erhitzte Kupferplatte aussendet. Diese Resultate zeigen, übereinstimmend mit den vorhergehenden, daſs, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle, das Reflexionsvermögen der Metalle für die von ihr ausgesandten Strahlen desto beträchtlicher ist.

Den obigen Beobachtungen zufolge, wächst die Intensität der Reflexion für die aus dem dunklen Theil des Sonnen-Wärmespectrums genommenen Strahlen rasch, so wie die Gegend, aus der man sie abscheidet, sich vom Roth entfernt. Wir haben sie beim Messing sogar einen fast eben so groſsen Werth annehmen sehen, wie diese Legirung für die Wärme der Locatellischen Lampe zeigt.

Vergleicht man diese Resultate, so kann man sich nicht enthalten, darin eine Bestätigung der Ansicht zu erblicken, daſs die Wärme aus Quellen von niederer Temperatur ganz gebildet ist aus Strahlen, die den wenigst brechbaren im dunklen Theil des Spectrums ähnlich oder gleich sind.

Ohne Zweifel müſste man, um diese Betrachtungsweise strenge zu begründen, den mittleren Brechbarkeitsgrad oder die mittlere Wellenlänge der aus diesen beiden Quellen herkommenden Strahlen direct bestimmen; dazu hatten wir noch keine Muſse, allein wir hatten wenigstens Gelegenheit nachzuweisen, daſs man in den unvollkommnen Spectren, welche man erhält, wenn man die wenig intensiven Strahlen einer guten Moderator-Lampe durch Glasprismen

Digitized by Google

zerstreut, nur in dem Roth oder in dem dunklen, weniger als das Roth brechbaren Theil ein etwas beträchtliches Verhältniſs von Wärme findet. Nun ist es nach der Unvollkommenheit der angewandten Spectren unmöglich nicht anzunehmen, daſs ein starker Antheil der im Roth gefundenen Wärme von der Beimischung dunkler, weniger als das Roth brechbarer Strahlen herrühre. Alles deutet folglich übereinstimmend darauf hin, daſs die mittlere Brechbarkeit der Wärme aus Quellen von niederer Temperatur schwach ist. Uebrigens ist diese Idee, auf welche wir durch unsere Versuche geführt wurden, längst von Hrn. Melloni in Folge seiner zahlreichen Versuche über den Wärmedurchgang ausgesprochen.

Nach diesem Physiker werden die Strahlen aus dem dunklen Theil des Sonnenspectrums desto weniger vom Wasser durchgelassen als ihre Brechbarkeit geringer ist. Da andrerseits eine rasche Abnahme in der Durchgänglichkeit durch Wasser gewöhnlich die Senkung der Temperatur der Wärmequellen begleitet, so hat man daraus gefolgert, daſs die Strahlen von geringer Brechbarkeit diejenigen seyen, welche in der Wärme aus Quellen von niedriger Temperatur vorwalten.

Wir selbst haben einige Versuche über diesen Gegenstand angestellt, und dabei folgende Resultate erhalten:

Durchgang durch 0m,05 Wasser, eingeschlossen zwischen zwei polirten Glasplatten.

Gesammte Sonnenwärme	0,58
Dunkle Sonnenwärme, genommen in einem Abstand vom Roth, der dem des Roth von der Gränze zwischen Grün und Blau gleich war	0,14
Dunkle Sonnenwärme, noch entferntere	0,00
Sonnenwärme, die schon durch 25 Centmet. Wasser gegangen	0,92
Wärme einer durch einen starken galvanischen Strom erglühenden Kohle	0,23 bis 0,24

Wärme von Kreide, die in einer durch Sauerstoff angefachten Aetherflamme glühte	0,20
Wärme einer Locatellischen Lampe oder einer Argandschen mit Zugröhre	0,10
Wärme einer Lampe mit gesalzenem Alkohol	0,02 bis 0,03
Wärme einer Argand'schen Lampe, nach dem Durchgang durch eine Linse und 10 Centm. Wasser	0,51.

Wir schlieſsen mit Anführung einer letzten Beobachtung, welche mit den frühern übereinstimmt und eine Andeutung von der Beschaffenheit der elektrischen Wärme giebt. In einem schönen Spectrum, gebildet von den Strahlen aus glühender Kohle, haben wir Wärme mit Leichtigkeit bis in das Blau verfolgen können, während wir bei den Spectren der gewöhnlichen Lampen niemals dahin gelangten.

VI. *Notiz über die Geschwindigkeit des Schalls in Stäben; von W. Wertheim.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXXI. p.* 36.)

In einer, 1842 veröffentlichen Abhandlung über die Elasticität der Metalle [1]) habe ich mich besonders mit dem Verhältniſs zwischen den Elasticitätscoëfficienten und der Schallgeschwindigkeit beschäftigt und gefunden, daſs die Longitudinal-Schwingungen immer für diese letztere einen etwas gröſseren Werth ergeben als der durch die Verlängerung bestimmte Elasticitätscoëfficient. Um diesen Unterschied zu erklären, habe ich die Hypothese von der Beschleunigung des Schalls durch Wärme-Entwicklung angenommen und mich einer Formel des Hrn. Duhamel bedient, um das Verhältniſs zwischen den beiden specifi-

1) Ann. Ergänzbd. II. S. 1.

schen Wärmen mittelst des Verhältnisses zwischen den beiden Schallgeschwindigkeiten zu berechnen. Hr. Clausius hat neuerlich eine Abhandlung veröffentlicht [1]), in welcher er auf diesen Gegenstand zurückkommt und die Bemerkung macht, daſs die von mir angewandte Formel, nur für die Fortpflanzung spärischer Wellen im Innern eines starren Körpers gelte, und nicht für die lineare Fortpflanzung längs einem Stabe, und daſs, wenn man meine Versuche mittelst der für diesen letzten Fall gültigen Formel berechne, man für das Verhältniſs der specifischen Wärmen unmögliche Werthe finde.

Dieser Widerspruch zwischen Hypothese und Erfahrung war mir nicht unbekannt; ich hatte ihn bemerkt und wenn ich mich nicht dabei aufhielt, so geschah es, weil damals die Unterscheidung zwischen der Fortpflanzung des Schalls in einem Stabe und in einer unbegränzten Masse noch nicht von den Physikern anerkannt ward. Sie war noch durch keinen Versuch bestätigt und ich glaubte nicht eine sehr in Ansehen stehende Hypothese durch das Resultat eines Calculs angreifen zu dürfen, der seinerseits beanstandet werden konnte. Und wirklich haben andere Untersuchungen seitdem gezeigt, daſs zwischen beiden Geschwindigkeiten zwar ein Unterschied herrscht, das gegenseitige Verhältniſs derselben aber nicht das ist, welches man bisher allgemein angenommen hatte.

Was Hr. Clausius hätte überzeugen können, daſs mir diese Schwierigkeit nicht unbekannt war, ist der Umstand, daſs ich in meinen übrigen Abhandlungen über die Elasticität von Legirungen und anderen starren Körpern fortgefahren habe, den Unterschied zwischen der theoretischen und wirklichen Geschwindigkeit des Schalls möglichst genau zu stimmen, ohne eine Erklärung desselben aufzusuchen und ohne eine Folgerung daraus zu ziehen.

Allein jetzt, da kein Zweifel mehr obwaltet, daſs zwischen den beiden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten unterschieden werden müsse, scheint mir die Hypothese von der

1) Poggendorff's Annal. Bd. LXXVI. S. 46.

Digitized by Google

Beschleunigung des Schalls im starren Körper durch Wärme-Entwicklung um so weniger haltbar, als diese Beschleunigung bestimmt in Flüssigkeiten nicht stattfindet, obgleich diese letzteren sich in Bezug auf Schwingungen durchaus wie die starren Körper verhalten. Man muſs also suchen den Unterschied zwischen der theoretischen und experimentellen Geschwindigkeit auf andere Weise zu erklären.

Unter diesem Gesichtspunkt scheint mir folgende Bemerkung nicht ohne Wichtigkeit. Zufolge der Analyse des Hr. Cauchy muſs die Schallgeschwindigkeit in einem Stabe verschieden seyn von der, welche in einer Platte von unendlicher Ausdehnung oder in einer elastischen Lamelle stattfindet.

Bezeichnet man die erstere mit v_1, die zweite mit v_2 und die Dichtigkeit mit Δ so hat man [1]):

$$v_1^2 = \frac{(\vartheta-1)(\vartheta+2)}{\vartheta+1}\frac{K}{\Delta}; \quad v_2^2 = \left(\vartheta - \frac{1}{\vartheta}\right)\frac{K}{\Delta}$$

woraus, wenn man $\vartheta = 2$ setzt:

$$v_2 = \sqrt{\frac{8}{9}} \cdot v_1 = 1{,}0607 \cdot v_1.$$

Nimmt man also einen Stab und eine Platte von gleicher Substanz, gleicher Dicke und Breite, so müſste der Longitudinalton der Platte viel höher seyn als der des Stabes. Allein der Versuch beweist, daſs man vom Stabe zum Streifen, und von diesem zur Platte übergehen kann, ohne daſs der Longitudinalton die geringste Veränderung erleidet [2]). Die Schallgeschwindigkeit ist also dieselbe in der Platte und im Stabe. Bezeichnen wir diese Geschwindigkeit, welche die wirkliche ist, mit v, so können wir experimentell für jede Substanz das Verhältniſs $\frac{v}{v_1}$ finden.

In folgender Tafel habe ich die Mittelwerthe zusammengestellt, die aus meinen schon veröffentlichten Untersuchungen hervorgehen.

1) *Exercices de Mathématiques T. III. p.* 346 und 365.
1) Savart, *Ann. de chim. et de phys. T. XXV. p.* 255.

Digitized by Google

Substanzen.	$\frac{v}{v_1}$	Substanzen,	$\frac{v}{v_1}$	Substanzen (Hölzer.)	$\frac{v}{v_1}$
Gold, ausgezogen	1,028	Messing, reines	1,090	Hagebuche	1,048
angelassen	1,068	Berliner	1,029	Espe	1,017
Silber, ausgezog.	1,014	Berliner	1,047	Erle	1,058
angelass.	1,007	Blei, gegossen	1,116	Sycomore	1,067
Palladium, ausgez.	1,027	ausgezog.	1,124	Ahorn	1,033
angelass.	1,073	angelass.	1,114	Eiche	1,052
Platin, ausgezogen	1,004	Glas, Spiegelgl.	1,052	Birke	1,100
angelassen	1,003	gemeines blei-		Buche	1,051
Zink, ausgezogen	1,046	freies	1,032	Esche	1,116
angelassen	1,017	feines	1,068	Ulme	1,083
Kupfer, ausgezog.	1,003	violettes	1,190	Pappel	1,006
angelassen	1,043	Kristallglas	1,164	Akazie	1,091
				Tanne	1,028
				Fichte	1,040

Diese Werthe sind aus den Resultaten zweier Arten von Versuchen berechnet, deren Fehler sich addirt haben können, folglich mögen sie nicht mit groſser Genauigkeit bestimmt seyn; trotzdem weichen sie nicht sehr ab von dem Verhältniſs $v_2 : v_1$, welches $= 1,061$ ist. Um folglich allen Widerspruch zwischen Rechnung und Erfahrung zu heben, brauchte man nur anzunehmen, daſs $v = v_2$, oder, was auf dasselbe hinausläuft, daſs die Stäbe, mit welchen wir arbeiteten, schon als elastische Platten zu betrachten seyen. Uebrigens habe ich geglaubt diese Auslegung andeuten zu müssen, bin aber weit entfernt, sie für eine vollständige Lösung der Aufgabe zu halten.

VII. *Ueber eine Beziehung zwischen der Farbe gewisser Flammen und den durch das Licht gefärbten heliographischen Bildern; von Hrn. Niepce-de-Saint-Victor.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXXII. p.* 373.)

Am 24. März d. J. habe ich bei der Academie eine sehr ausführliche Abhandlung über diesen Gegenstand niedergelegt. Gegenwärtig will ich einen möglichst bündigen Auszug davon geben.

Wie bekannt wird eine Silberplatte, die in einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd und Chlornatrium mittelst der Säule positiv gemacht ist, chlorirt und zugleich fähig sich zu färben, wenn man sie, zum Bade herausgezogen, der Wirkung des Lichtes aussetzt.

Man weiſs überdieſs, daſs Hr. Edmond Becquerel, als er eine solche Platte den Farbenstrahlen des Sonnenspectrums aussetzte, ein Bild von diesem Spectrum erhielt, dergestalt, daſs der rothe Strahl ein rothes Bild auf der Platte machte, der violette ein violettes, und so fort die übrigen [1]).

Da ich nach meinen Beobachtungen dachte, daſs eine Beziehung stattfinden könne zwischen der Farbe, die ein Körper einer Flamme mittheilt, und der Farbe, welche das Licht auf einer Silberplatte entwickelt, die mit dem diese Flamme färbenden Körper chlorirt worden, so unternahm ich die Reihe von Versuchen, welche ich hier der Academie vorlege.

Das Bad, in welches ich die Silberplatte tauchte, bestand aus mit Chlor gesättigtem Wasser, dem ich ein Chlorid hinzufügte, das die Eigenschaft besaſs, der Flamme diejenige Farbe zu ertheilen, welche ich auf der Platte hervorbringen wollte.

1) Ann. Bd. LXXVII, S. 512.

Digitized by Google

So z. B. weiſs man, daſs Chlorstrontium die Flammen überhaupt und besonders die Alkoholflamme purpurn färbt. Behandelt man nun eine Silberplatte mit gesättigtem Chlorwasser, dem man Chlorstrontium hinzugefügt hat, und setzt dieselbe, nachdem man eine in Roth oder anderen Farben gefärbte Zeichnung mit der Vorderseite (*le recto*) auf sie gelegt hat, dem Sonnenlichte aus, so bemerkt man nach 10 oder 15 Minuten, daſs die Farben der Zeichnung auf der Platte reproducirt sind, die rothen aber viel deutlicher als die übrigen.

Will man successive die sechs andern Farben des Sonnenspectrums reproduciren, so operirt man auf dieselbe Weise wie eben beim rothen Strahl gezeigt worden, indem man für Orange Calciumchlorid oder Uranchlorid, für Gelb unterchlorigsaures Natron, Chlorkalium oder Chlornatrium oder auch reines Chlorwasser (*chlore liquide pur*) anwendet; denn wenn man eine Platte von reinem Silber auf einige Zeit in Chlorwasser taucht und darauf der Flamme einer Alkohollampe aussetzt, färbt sich diese Flamme schön gelb.

Taucht man eine Silberplatte in Chlorwasser oder setzt sie dem Dampfe desselben aus, (in welchem letzteren Falle indeſs der Grund der Platte immer dunkel bleibt, obwohl die Farben sich reproduciren), so erhält man alle Farben durch das Licht, aber bloſs das Gelb ist lebhaft. Sehr schöne gelbe Farben habe ich erhalten mit einem Bade, bestehend aus sehr schwach durch Salzsäure angesäuertem Wasser und einem Kupfersalz. Grün erhält man mit Borsäure oder Nickelchlorid, so wie mit allen Kupfersalzen. Blau bekommt man mit Kupferchlorid-Ammoniak; Indigo mit derselben Substanz. Violett erhält man mit Strotiumchlorid und schwefelsaurem Kupferoxyd.

Verbrennt man endlich Alkohol, der durch Salzsäure angesäuert worden, so erhält man eine gelbe, blaue und grünliche Farbe, und wenn man eine Silberplatte mit einem durch Chlorwasserstoffsäure angesäuerten Wasser zubereitet, so erhält man durch das Licht alle Farben; allein der Grund der Platte ist immer schwarz, und diese Zube-

Digitized by Google

reitung der Platte kann nicht anders als mittelst der Säule geschehen.

Das sind alle Substanzen, welche gefärbte Flammen liefern und auch durch das Licht gefärbte Bilder geben.

Nehme ich nun Substanzen, welche die Flammen nicht färben, so erhalte ich auch keine durch das Licht gefärbten Bilder, d. h. es entstehen auf der Platte nur negative, aus schwarz und weiſs bestehende Bilder, wie bei der gewöhnlichen Photographie.

Einige Substanzen, wie Antimonchlorid, chlorsaures Bleioxyd und Zinkchlorid, geben weiſse Flammen. Die beiden ersteren geben eine bläulich (*azurée*) weiſse Flamme, und das letztere eine weiſse, schwach grün und blau gefärbte Flamme. Diese drei Chlorverbindungen geben, wenn man sie einzeln anwendet, im Lichte keine Farben, mischt man sie aber mit andern Substanzen, die Farben hervorbringen, so erhält man überdieſs weiſse Gründe. Eine sehr schwierige Sache, weil es in der That kein eigentliches Schwarz oder Weiſs bei diesen Farben-Erscheinungen giebt, und, wenn ich es erhielt, war es nur mittelst Chlorzinks oder chlorsauren Bleioxyds, das ich meinen Bädern hinzufügte, allein in sehr kleiner Menge, weil sie die Reproduction der Farben verhindern.

Ich habe alle Farben des Modells reproducirt, indem ich die Platte mit einem aus Kupferchlorid bestehenden Bade zubereitete. Dieses Resultat erklärt sich gut, wie mir scheint, durch die Beobachtung, daſs eine Alkohol- oder Holzflamme, in welche man Kupferchlorid gestreut hat, nicht allein Grün zeigt, sondern auch successive alle übrigen Farben des Spectrums, je nach der Intensität des Feuers. Ebenso verhält es sich mit fast allen dem Chlor zugemischten Kupfersalzen.

Ich verweise hier auf den Nachtrag zu meiner Abhandlung, welchen man am Schlusse dieser findet, und in welchem ich alle Farben aufgezählt habe, die, als Chloride oder Chlorate, eine Wirkung bei diesen Färbungs-Erscheinungen ausüben. Die Substanzen, welche keine farbigen Flam-

Digitized by Google

men geben, geben auch keine durch das Licht gefärbte Bilder.

Ich gebe in meiner Abhandlung die Zusammensetzung der Bäder, mit welchen die Silberplatte zubereitet wird; da es aber deren viele giebt, und ich doch nicht alle von mir gemachten Combinationen angeben konnte, so habe ich zwei oder drei ausgewählt, die mir den Vorzug zu verdienen scheinen vor allem, um Platten ohne Anwendung der Säule zuzubereiten.

Ich habe gesagt, daſs das Chlorwasser die Silberplatte durch bloſse Eintauchung zubereite (*impressionnait*) und alle Farben gebe, allein sie sind schwach (mit Ausnahme des Gelben), was von der Dünnheit der Schicht herrührt, die man nur mittelst der Säule dick machen kann.

Bringt man ein Kupfersalz in Chlorwasser (*chlore liquide*), so erhält man durch bloſse Eintauchung eine sehr dicke Schicht. Allein das Kupfersalz mischt sich immer schlecht mit dem Chlorwasser; ich ziehe vor Kupferchlorid zu nehmen, dem ich drei Viertel seines Gewichts Wasser hinzufüge. Dieſs Bad giebt sehr gute Resultate, allein noch vorzüglicher ist eins aus gleichen Theilen Kupferchlorid und Eisenchlorid (*chlorure de fer*) mit drei Vierteln Wasser. Das Eisenchlorid hat, wie das Kupferchlorid, die Eigenschaft das Silber anzugreifen (*d'impressionner*) und mehre Farben darauf hervorzubringen; allein sie sind unendlich schwächer und immer waltet darin das Gelb vor; dieſs stimmt mit der gelben Farbe, welche das Eisenchlorid in der Flamme hervorbringt.

Macht man ein Bad zusammengesetzt aus allen Substanzen, die für sich eine vorherrschende Farbe geben, so erhält man sehr lebhafte Farben; allein die groſse Schwierigkeit ist, sie in zweckmäſsigen Verhältnissen zu vermischen, denn es geschieht fast immer, daſs einige Farben von andern ausgeschlossen werden; indeſs muſs es gelingen sie alle zu reproduciren.

Ich muſs sagen, daſs die Erlangung dieser Farben sehr groſse Schwierigkeiten hat, noch gröſsere als in allen übri-

Digitized by Google

gen photographischen Processen; denn, wenn man auch die Platten auf dieselbe Weise bereitet, ist man doch nicht immer gewiſs dieselben Resultate zu erlangen. Dieſs rührt unter andern von der Dicke und der Concentration der Chlorschicht her, die nach den angewandten Chloriden verschieden ist.

Vom Einfluſs des Wassers und der Wärme bei diesen Färbungen durch das Licht. — Der Einfluſs des Wassers ist unbestreitbar, weil das trockne Chlor keine Wirkung giebt, während durch Eintauchung in Chlorwasser (*chlore liquide*) oder dessen Dampf alle vorhin angeführten Farben reproducirt werden.

Wenn man eine Platte der Wirkung des Chlors ausgesetzt hat und sie dann über einer Weingeistlampe erhitzt, so nimmt sie successive alle Farben an, welche die Wärme hervorbringt. So nimmt eine Platte, die beim Herausziehen aus dem Bade eine dunkle Farbe hat, successiv die folgenden Farben an: rothbraun, kirschroth, lebhaft roth, rothweiſs oder weiſs. Im letzteren Zustand giebt sie, dem Lichte ausgesetzt, keinen Effect mehr; dazu ist die kirschrothe Farbe erforderlich.

Allgemeine Bemerkungen über diese Erscheinungen. — Merkwürdig ist, daſs man, um diese Färbungs-Effecte zu erhalten, durchaus mit metallischem, auf angegebene Weise zubereitetem, Silber operiren muſs, denn das Chlorid, Cyanid, Nitrat oder Sulfat des Silbers, auf Papier ausgestrichen (*on enduit d'amidon*), giebt nur Schwarz oder Weiſs. Vielleicht, daſs man ein Resultat erhielte, wenn man Silberpulver mit den angeführten Substanzen vermengte und damit ein Papierblatt überzöge. Ich denke diesen Versuch noch anzustellen. Andererseits habe ich Silberpapier versucht, und das hat mir ziemlich gute Resultate gegeben, obwohl nicht so gute wie die Metallplatte.

Wie wir gesehen, geben alle Substanzen, welche die Flammen färben, auch farbige Bilder, und fast auch immer im Verhältniſs zu ihren respectiven Farben; denn, wenn es mir auch nicht gelungen ist, einen Strahl vollständig zu

Digitized by Google

isoliren, d. h. eine einzige Farbe, mit Ausschluſs aller übrigen, auf der Platte zu erhalten, so habe ich doch immer, je nach der angewandten Substanz, eine vorwaltende Farbe bekommen. Und wenn man keine einzelne Farbe erhalten kann, so rührt dieſs daher, daſs das bloſse Chlor, welches die zu ihrer Erlangung unumgängliche Substanz ist, sie alle erzeugt, wie wir gesehen, als wir mit reinem Chlorwasser operirten; allein in diesem Fall sind die Farben immer sehr schwach, während sie für sich eine sehr groſse Lebhaftigkeit annehmen, je nach der Substanz, die man dem Chlorwasser beigemengt hat.

Jod und Brom verhalten sich ganz anders wie das Chlor und können daher nicht angewandt werden. Sie erzeugen keine Farben und ebenso wenig farbige Flammen; selbst wenn sie mit Kupfer vermischt werden, geben sie nur eine grüne Flamme. Das Chlor, im Zustand von Chlorit oder Chlorat, ist die einzige Substanz, welche dem metallischen Silber die Eigenschaft ertheilt sich im Lichte zu färben.

Ich habe auch beobachtet, daſs gewisse Farben langsamer erscheinen, und währenddeſs andere verschwanden.

Verfahrungsweise. — Alle meine Bäder habe ich, dem Gewichte nach, aus einem Theile Chlorid und drei Theilen Wasser zusammengesetzt. Wendet man Chlorwasserstoffsäure mit einem Kupfersalz an, so muſs man sie mit einem Zehntel Wasser verdünnen. Das Chlorwasser darf nicht zu concentrirt seyn, wenn man ein schönes Gelb erhalten will.

Bäder, zusammengesetzt aus mehren Substanzen, müssen filtrirt oder decantirt werden, um eine klare Flüssigkeit zu erhalten; man thut sie dann in ein Gefäſs, um sich derselben nach Bedürfniſs zu bedienen.

Man darf von dieser Flüssigkeit nicht mehr nehmen als zur Zubereitung von höchstens zwei Platten nöthig ist; denn das Bad schwächt sich durch jede Operation bedeudend. Indeſs kann man es verstärken, wenn man einige Tropfen Chlorwasserstoffsäure hinein thut.

Digitized by Google

Mit chemisch reinem Silber habe ich lebhaftere Farben bekommen, als mit Silber, welches ein Zehntel Kupfer enthielt. Silber von 0,718 Feingehalt gab sehr dunkle Farben. Das reinste Silber verdient also immer den Vorzug bei diesen Versuchen.

Nachdem man die Platte wohl abgerieben hat (wozu man Ammoniak und Tripel nehmen muſs) taucht man sie auf einmal in das Bad und läſst sie einige Minuten darin, um eine ziemlich dicke Schicht zu bekommen. Nach Herausnahme aus dem Bade, spült man die Platte in vielem Wasser ab und trocknet sie dann über einer Weingeistlampe. Sie hat in dem Bade eine dunkle fast schwarze Farbe angenommen, und wenn man sie so dem Lichte aussetzt, entstehen die Farben ebenso, aber viel langsamer und der Grund ist immer schwarz. Um einen klaren Grund zu erhalten und die Operation zu beschleunigen, muſs man der Platte durch Erwärmung eine kirschrothe Farbe ertheilen, und sie bei dieser Wärme, wie gesagt, dem Lichte aussetzen. Die Dauer der Aussetzung variirt sehr, je nach der Zubereitung der Platte; allein es läſst sich berechnen, daſs man zwei bis drei Stunden bedarf, um in der Camera obscura ein Bild (*epreuve*) zu erhalten. Dieſs ist zweifelsohne sehr lang; allein die Beschleunigung ist eine Nebensache und ich habe mich noch nicht damit beschäftigt. Indeſs kann ich schon sagen, daſs Natriumfluorid, so wie Chlorsäure und alle Chlorate, die Operation sehr beschleunigen.

Von der Fixirung der Bilder. — Bisjetzt ist es mir noch nicht gelungen, die Farben zu fixiren; sie verschwanden sehr rasch, selbst im diffusen Licht, nichts vermochte sie zu halten. Ich habe mehr als hundert Versuche gemacht, ohne irgend ein befriedigendes Resultat. Ich habe alle Säuren und alle Alkalien durchprobirt. Die ersteren beleben die Farben; die letzteren nehmen sie fort, indem sie das Chlor zerstören und nur ein schwarzes Bild hinterlassen. Auf diese Weise habe ich Bilder ganz wie die Daguerre'schen erhalten und andere ohne Spiegelung; um

Digitized by Google

um die letzteren zu erhalten, braucht man nur eine Platte mit sehr dicker Schicht anzuwenden und sie kürzere Zeit dem Lichte auszusetzen.

Das Problem der Fixirung der Farben zu lösen, scheint mir sehr schwierig; deſsungeachtet werde ich meine Untersuchungen fortsetzen, und ich bin bereits dahin gelangt, die Farben momentan zu fixiren, indem ich sie einer Weingeistflamme aussetzte, die Kochsalz und Salmiak enthielt.

Nachtrag.

Ich habe gefunden, daſs die Erscheinungen der Färbung durch das Licht sich im Vacuo so gut wie in der Luft zeigen, daſs mithin der Sauerstoff keine Rolle dabei spielt. Es bleiben also nur drei Agentien: Wasser, Wärme, und, als das hauptsächlichste, Licht.

Ich habe die Eigenschaft von jedem (?) Chlorid studirt, sowohl für sich, als zugleich mit Chlorwasser oder mit einem Kupfersalz; denn wenn man die Platte nicht mittelst der Säule zubereitet, ist ein Kupfersalz unentbehrlich um eine Schicht von gewisser Dicke zu erhalten, und in diesem Fall sind die Farben viel lebhafter. Ich will alle von mir angewandten Chloride namhaft machen und sie in Kategorien stellen.

Erste Kategorie. — Chloride, die, für sich angewandt, die Silberplatte dergestalt zubereiten (*impressionnent*), daſs sie alle Farben des Modells oder mehre derselben annimmt. Solche sind: Die Chloride von Kupfer, Eisen, Nickel und Kalium, die Hypochlorite von Natron und Kalk, so wie Chlorwasser, durch Eintauchung oder als Dampf.

Zweite Kategorie. — Chloride, die, für sich angewandt, die Silberplatte angreifen (*impressionnent*), aber dennoch keine durch das Licht gefärbte Bilder geben. Solche sind: Die Chloride von Arsen, Antimon, Brom, Wismuth, Jod, Platin und Schwefel.

Dritte Kategorie. — Chloride, die, für sich angewandt, die Silberplatte nicht angreifen, wohl aber bei Vermischung

mit einem Kupfersalz (besonders mit dem Sulfat oder Nitrat), und die dann Farben im Lichte geben. Solche sind: die Chloride von Aluminium, Silber, Barium, Kadmium, Calcium, Kobalt, Zinn, Mangan, Magnesium, Phosphor, Natrium, Strontium und Zink. Chlorwasserstoffsäure, mit einem Zehntel Wasser verdünnt und mit Kupfernitrat vermischt, greift die Platte an und giebt alle Farben.

Vierte Kategorie. — Chloride und Chlorate, die, wenn auch vermischt mit einem Kupfersalz, die Silberplatte angreifen, aber keine Farben im Lichte geben. Solche sind: Quecksilberchlorid und Bleichlorat.

Zusammengefaſst enthält die erste Kategorie die Chloride, welche, für sich angewandt, die Silberplatte dergestalt verändern, daſs sie alle Farben oder bloſs einige derselben annimmt; und merkwürdiger Weise sind es auch alle diese Chloride, welche durch Verbrennung farbige Flammen liefern.

Die zweite Kategorie enthält Chloride, welche, für sich angewandt, die Silberplatte zwar verändern, aber, weil sie keine farbigen Flammen liefern, auch keine im Lichte sich färbende Bilder geben, selbst wenn sie mit einem Kupfersalz vermischt sind.

Die dritte Kategorie enthält die Chloride, welche, für sich angewandt, die Silberplatte nicht verändern und keine farbigen Flammen geben (mit Ausnahme von Barium- und Zinkchlorid, welche schwache Farben liefern); allein mit einem Kupfersalz vermischt, bilden sie Chlorkupfer, und alsdann werden sie fähig die Platte zu verändern, und Farben im Lichte hervorzubringen.

Die vierte Kategorie enthält die Chloride, welche, gemischt mit einem Kupfersalz, die Silberplatte zwar verändern, aber doch keine Farben im Lichte hervorbringen. Auch geben sie, allein verbrannt, keine farbigen Flammen, und, vermischt mit einem Kupfersalz, nur eine grüne.

Es giebt noch eine groſse Anzahl von Chloriden, die ich nicht versucht habe, weil sie zu kostspielig sind, um sie besonders zur Bildung von Bädern anwenden zu können.

Digitized by Google

Dahin gehören: Die Chloride von Kohlenstoff, Cerium, Chrom, Cyan, Iridium, Molybdän, Palladium, Silicium, Rhodium, Titan, Wolfram und Zirkon.

Nach den zahlreichen Thatsachen, die ich seit etwa einem Jahre beobachtet habe, scheint es sicher, daſs wenn auch zwischen den farbigen Flammen und den farbigen Bildern, die man im Lichte auf einer mit den die Flamme färbenden Chloriden oder Chloraten zubereiteten Silberplatte erhält, keine vollständige Aehnlichkeit herrscht, doch eine groſse Analogie zwischen denselben vorhanden ist.

VIII. *Ueber die Interferenzen des polarisirten Lichts; von Hrn. E. Verdet.*

(*Ann. de. chim. et de phys. Ser. III. T. XXXI. p.* 377.)

Alle Physiker kennen die Versuche, durch welche Arago und Fresnel bewiesen haben, daſs zwei unter sich rechtwinklich polarisirte Lichtstrahlen, wie auch ihr Gangunterschied seyn möge, nicht mit einander interferiren können.

Gestützt auf dieses experimentelle Gesetz, hat Fresnel in seiner Abhandlung über die Doppelbrechung einen Beweis von dem Principe der Transversalvibrationen gegeben [1]). Ich glaube nicht, daſs man diesen Beweis jemals in Zweifel gezogen habe, und doch ist er unrichtig, weshalb ich es für nützlich halte, ihn zu berichtigen.

Bezeichnet man mit x und x' die von beiden Strahlen von ihrem gemeinschaftlichen Ursprung aus durchlaufenen Wege, und repräsentirt durch

$$u = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$v = b \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\chi}{\lambda} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$w = c \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\psi}{\lambda} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

1) *Mémoires de l'académie des sciences, T. VII. p.* 96.

Digitized by Google

die drei Componenten der Vibrationsgeschwindigkeiten im ersten Strahl, gerichtet nach drei rechtwinklichen Axen, von denen die eine der Richtung des Strahls parallel, die zweite winkelrecht auf dieser Richtung und parallel der Polarisationsebene, und die dritte winkelrecht auf letzterer Ebene ist; und auch durch

$$u' = a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi'}{\lambda} - \frac{x'}{\lambda} \right)$$
$$v' = b' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\chi'}{\lambda} - \frac{x'}{\lambda} \right)$$
$$w' = c' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\psi'}{\lambda} - \frac{x'}{\lambda} \right)$$

die drei Componenten der Vibrationsgeschwindigkeiten des zweiten Strahls in Richtung derselben Axen; so wird die Intensität des aus der Combination dieser beiden Strahlen hervorgehenden Lichts ausgedrückt seyn durch:

$$a^2 + a'^2 + 2aa' \cos 2\pi \left(\frac{\varphi - \varphi' + x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ b^2 + b'^2 + 2bb' \cos 2\pi \left(\frac{\chi - \chi' + x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ c^2 + c'^2 + 2cc' \cos 2\pi \left(\frac{\psi - \psi' + x - x'}{\lambda} \right).$$

»Die Erfahrung, sagt Fresnel, beweist, daſs die Intensität constant bleibt, welche Veränderungen der Unterschied $x - x'$ der durchlaufenen Wege auch erleide, sobald nur die beiden interferirenden Strahlenbündel ihre Polarisationsebenen winkelrecht gegen einander haben. In diesem Falle also bleibt der Werth des obigen Ausdrucks gleich für alle Werthe von $x - x'$. Man muſs also haben

$$a^2 + b^2 + c^2 + a'^2 + b'^2 + c'^2$$
$$+ 2aa' \cos 2\pi \left(\frac{\varphi - \varphi' - x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ 2bb' \cos 2\pi \left(\frac{\chi - \chi' - x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ 2cc' \operatorname{sos} 2\pi \left(\frac{\psi - \psi' - x - x'}{\lambda} \right) = C$$

eine Gleichung, in welcher nur $x - x'$ variabel ist. Da nun dieser Gleichung bei jeglichem Werth von $x - x'$ genügt

Digitized by Google

seyn muſs, so ist klar, daſs alle Glieder, welche $x-x'$ enthalten, verschwinden müssen, weil man sonst aus der Gleichung particuläre Werthe von $x-x'$ ziehen würde. Folglich hat man:

$$aa'=0, \quad bb'=0, \quad cc'=0. \text{«}$$

Fresnel zeigt darauf ohne Schwierigkeit, daſs man zugleich haben müsse:

$$a=0 \text{ und } a'=0$$

mit

$$b=0, \quad c'=0 \text{ oder } b'=0, \quad c=0.$$

Der Fehler in der angeführten Stelle ist, wie mir scheint, ziemlich einleuchtend. Bringt man die von Fresnel aufgestellte Formel unter die Form:

$$\left(2aa'\cos 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+2bb'\cos 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda}+2cc'\cos 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}\right)\cos 2\pi\frac{x-x'}{\lambda}$$
$$-\left(2aa'\sin 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+2bb'\sin 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda}+2cc'\sin 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}\right)\sin 2\pi\frac{x-x'}{\lambda}=K$$

wo K eine neue Constante, gleich:

$$C-(a^2+b^2+c^2+a'^2+b'^2+c'^2),$$

so sieht man, daſs ihr, für alle Werthe von $x-x'$ genügt seyn wird, sobald man gleichzeitig hat:

$$K=0$$

$$aa'\cos 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+bb'\cos 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda}+cc'\cos 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}=0$$

$$aa'\sin 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+bb'\sin 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda}+cc'\sin 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}=0$$

und diese Bedingungen können auf unendlich viele Weise erfüllt werden, die alle, wenn man nicht andere Betrachtungen zu Hülfe zieht, gleich zuläſsig erscheinen.

Auf folgende Art läſst sich der Beweis strenge führen. Es seyen:

Digitized by Google

$$\left.\begin{aligned} u &= a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) \\ v &= b \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\chi}{\lambda}\right) \\ w &= c \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\psi}{\lambda}\right) \end{aligned}\right\} \ldots (1)$$

die Gleichungen eines Strahls, der sich in der Richtung OX parallel mit u fortpflanzt, und in der Ebene YOX parallel mit u und v polarisirt ist (Fig. 7 Taf. IV.). Addirt man die Gröſse δ zu den Gröſsen φ, χ, ψ und multiplicirt a, b, c mit einem constanten Coëfficienten m, so erhält man das folgende System:

$$\begin{aligned} u_1 &= ma \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi+\delta}{\lambda}\right) \\ v_1 &= mb \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\chi+\delta}{\lambda}\right) \\ w_1 &= mc \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\psi+\delta}{\lambda}\right), \end{aligned}$$

welches auch einen in der Ebene YOX polarisirten Strahl vorstellt. Allein dieser Strahl hat nicht dieselbe Intensität wie der vorgehende und beide sind um den Gangunterschied δ verschieden. Läſst man nun den zweiten Strahl sich um 90° um die Axe OX drehen, im Sinne des Pfeils auf der Figur, so hat man einen in der Ebene ZOX polarisirten Strahl und die Componenten der Vibrationsgeschwindigkeit werden ausgedrückt durch:

$$\begin{aligned} &\text{parallel } OX \ldots u' = ma \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi+\delta}{\lambda}\right) \\ &\text{parallel } OY \ldots v' = -mc \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\psi+\delta}{\lambda}\right)^{1)} \\ &\text{parallel } OZ \ldots w' = mb \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{\chi+\delta}{\lambda}\right). \end{aligned}$$

Das System dieser Gleichungen, welches wir die Gleichungen (2) nennen wollen, kann *a priori* nicht für den allgemeinsten Ausdruck der Strahlen genommen werden,

1) Das Zeichen — dieser Gleichung erklärt sich leicht. Bei einer Drehung von 90° um OX, im angedeuteten Sinn, kommt OZ längs OY zu stehen, d. h. entgegengesetzt der positiven Richtung der Axe der y.

Digitized by Google

die auf dem Strahl der Gleichungen (1) winkelrecht polarisirt ist; allein es ist offenbar eine mögliche Form dieses Ausdrucks, und das genügt für unsere Schluſsfolgen.

In der That, da die Intensität des aus der Ueberdeckung der Strahlen (1) und (2) hervorgehenden Lichts ist:

$$(a^2+b^2+c^2)(1+m^2)+2ma^2\cos 2\pi\frac{\delta}{\lambda}$$
$$-2mbc\left(\cos 2\pi\frac{\psi+\delta-\chi}{\lambda}-\cos 2\pi\frac{\chi+\delta-\psi}{\lambda}\right)$$

so folgt aus dem Arago-Fresnel'schen Gesetz, wie auch δ seyn möge, daſs man haben müsse

$$a^2\cos 2\pi\frac{\delta}{\lambda}-bc\left(\cos 2\pi\frac{\psi+\delta-\chi}{\lambda}-\cos 2\pi\frac{\chi+\delta-\psi}{\lambda}\right)=C.$$

Diese Gleichung bringt sich leicht unter die Form

$$a^2\cos 2\pi\frac{\delta}{\lambda}-2bc\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}\sin 2\pi\frac{\delta}{\lambda}=C$$

und daraus folgt unmittelbar

$$a^2=0,\quad bc\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0,\quad C=0.$$

Die Bedingung $a^2=0$ zeigt an, daſs die Vibrationsgeschwindigkeiten keine Componenten parallel der Fortpflanzungs-Richtung der Lichtstrahlen haben und daſs folglich die Vibrationen transversal sind.

Die zweite Bedingung kann erfüllt werden, wenn man setzt:

$$bc=0 \text{ oder } \sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0.$$

Adoptirt man die Hypothese $bc=0$, so sieht man, daſs b oder c Null seyn muſs, und das folglich die Vibrationen parallel oder winkelrecht zur Polarisationsebene seyn müssen. Es reicht also hin zu untersuchen, ob die Hypothese $\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0$ wirklich eine Lösung gebe.

Nun kann die Bedingung $\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0$ durch zwei Systeme von Lösungen erfüllt werden, nämlich durch

$$\chi-\psi=0,\quad \chi-\psi=\lambda,\quad \chi-\psi=2\lambda\ \ldots$$

Digitized by Google

und durch

$$\chi-\psi=\frac{\lambda}{2},\ \chi-\psi=3\frac{\lambda}{2},\ \chi-\psi=5\frac{\lambda}{2}\ \ldots$$

Das erste System entspricht geradlinigen Vibrationen, gerichtet nach einer Geraden wie PP', Fig. 8 Taf. IV., welche mit der Polarisationsebene und oberhalb derselben einen Winkel $POY=\alpha$ macht, bestimmt durch die Formel

$$\tang\alpha=\frac{c}{b}.$$

Das zweite System entspricht Vibrationen in Richtung der Geraden QQ', welche ebenfalls einen Winkel gleich α mit der Polarisationsebene macht, aber unterhalb derselben. Da die Erfahrung in keiner Weise ein Unter oder Ueber, ein Rechts oder Links von der Polarisationsebene unterscheidet, so muſs man beide Lösungen als gleich zulässig betrachten.

Mithin müssen die beiden Strahlen, deren Vibrationen nach PP' und QQ' gerichtet sind, gleichmäſsig als in der Ebene YY' polarisirt angesehen werden. Lassen wir nun den Strahl QQ' um 90° sich um seine Fortpflanzungsrichtung drehen, so daſs seine Vibrationen in der Richtung RR' geschehen, so muſs er als in der Ebene ZZ', winkelrecht auf der Ebene YY', polarisirt betrachtet werden, und folglich dürften die Strahlen PP' und RR' nicht mit einander interferiren, welch einen Gangunterschied sie auch besitzen mögen. Allein es ist ersichtlich, daſs die beiden Strahlen sich unter Umständen befinden, wo sie interferiren können. Wir kommen also zu einem der Erfahrung widersprechenden Schluſs.

Die Hypothese $\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0$ muſs also verworfen werden, und es bleibt nur eine einzige Lösung der Aufgabe übrig, nämlich $bc=0$. So kommt man also auf Fresnel's Schlüsse zurück.

Digitized by Google

IX. *Ueber die Hypothesen vom Lichtäther und über einen Versuch, welcher zu beweisen scheint, daſs die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Innern der Körper fortpflanzt, durch deren Bewegung geändert wird; von H. Fizeau.*

(*Compt. rend. T. XXXIII.* 349.)

Um die Aberrationsphänomene nach dem Undulationssystem zu erklären, sind mehre Theorien aufgestellt worden. Fresnel zuvörderst, und neuerlich Doppler, Stockes, Challis und Andere, haben wichtige Arbeiten über diesen Gegenstand veröffentlicht; allein es scheint nicht, daſs eine der aufgestellten Theorien den vollen Beifall der Physiker erlangt habe. In der That hat man, bei Ermangelung sicherer Kenntnisse über die Eigenschaften des Lichtäthers und dessen Beziehungen zur wägbaren Materie, Hypothesen machen müssen, und darunter sind zwar einige mehr oder weniger wahrscheinlich, aber keine darf für vollkommen erwiesen gehalten werden.

Diese Hypothesen können hauptsächlich auf drei zurückgeführt werden. Sie beziehen sich auf den Zustand des Aethers im Innern durchsichtiger Körper.

Entweder haftet der Aether fest an den Moleculen des Körpers und nimmt daher Theil an den Bewegungen, die diesem Körper eingeprägt werden können.

Oder der Aether ist frei und unabhängig, und wird vom Körper nicht in seine Bewegungen hineingezogen.

Oder endlich ist bloſs ein Theil des Aethers frei und der andere an den Moleculen befestigt und dieser allein participirt an den Bewegungen des Körpers.

Diese letzte Hypothese, welche man Fresnel verdankt, wurde erdacht, um zugleich dem Aberrationsphänomen und einem berühmten Versuch des Hrn. Arago zu genügen, durch welchen derselbe bewies, daſs die Bewegung der

Digitized by Google

Erde keinen Einfluſs hat auf die Brechung, die das Licht der Sterne in einem Prisma erleidet.

Man kann den Werth in Betracht nehmen, welchen man, nach jeder dieser Hypothesen, der Geschwindigkeit des Lichts in den Körpern beilegen muſs, sobald man diese Körper als in Bewegung ansieht. Der Werth dieser Geschwindigkeit kann sich durch die Bewegung verändern.

Nimmt man an, der Aether werde insgesammt mit dem Körper fortgeführt, so wird die Geschwindigkeit des Lichts um die ganze Geschwindigkeit des Körpers vergröſsert seyn, sobald der Strahl in Richtung der Bewegung liegt. Ist dagegen der Aether als frei vorausgesetzt, so wird die Lichtgeschwindigkeit gar nicht abgeändert. Und wird endlich der Aether nur theilweise mitgeschleppt, so vergröſsert sich zwar die Lichtgeschwindigkeit, aber nur um einen Bruch von der Geschwindigkeit des Körpers und nicht um den ganzen Werth, wie nach der ersten Hypothese. Diese letztere Folgerung ist nicht so einleuchtend wie die vorhergehenden, allein Fresnel hat gezeigt, daſs sie sich auf sehr wahrscheinliche mechanische Betrachtungen stützt.

Obwohl die Geschwindigkeit des Lichts ungeheuer ist im Vergleich zu den Geschwindigkeiten, welche wir den Körpern einprägen können, so besitzen wir doch gegenwärtig so empfindliche Beobachtungsmittel, daſs es nützlich scheint, durch einen directen Versuch zu entscheiden, welch einen Einfluſs die Bewegung der Körper wirklich auf die Geschwindigkeit des Lichtes ausübe.

Man verdankt Hrn. Arago eine auf dem Interferenzphänomen beruhende Methode, welche geeignet ist, die kleinsten Veränderungen im Brechungsindex der Körper nachzuweisen. Die von ihm und Fresnel angestellten Beobachtungen über den Unterschied der Brechung in trockner und feuchter Luft haben die auſserordentliche Empfindlichkeit dieses Beobachtungsmittels dargethan.

Durch Annahme dieses Princips und durch Hinzufügung der Doppelröhre des Hrn. Arago zu dem Apparat der beiden conjugirten Fernröhre, welchen ich zur Bestimmung

Digitized by Google

der absoluten Geschwindigkeit des Lichts angewandt habe. Ist es mir gelungen, in den beiden Mitteln, Luft und Wasser, die Effecte der Bewegung eines Körpers auf das durch ihn gehende Licht direct zu studiren.

Ich will versuchen, den Gang des Lichts bei diesem Experiment ohne Mithülfe von Figuren zu verdeutlichen. Aus dem Brennpunkt einer cylindrischen Linse traten die Sonnenstrahlen fast unmittelbar in das erste Fernrohr durch eine seitliche, seinem Brennpunkt sehr nahe Oeffnung. Eine durchsichtige Glasplatte, die mit der Axe des Fernrohrs einen Winkel von 45° bildete, schickte sie durch Reflexion zu dem Objective hin.

Nach Austritt aus dem Objectiv trafen die unter sich parallel gewordenen Strahlen eine Doppelspalte, deren jede dem Eintritt in eine der Röhren entsprach. Somit drang ein sehr schmales Strahlenbündel in jede der Röhren und durchlief sie ihrer ganzen Länge nach (1^m,487).

Die beiden, stets unter sich parallelen Strahlenbündel erreichten das Objectiv des zweiten Fernrohrs, brachen sich darin und kamen vermöge dieser Brechung zur Vereinigung in dessen Brennpunkt. Hier trafen sie die reflectirende Ebene eines auf der Axe des Fernrohrs lothrechten Spiegels und erlitten eine Reflexion, welche sie gegen das Objectiv zurücksandte. Allein vermöge dieser Reflexion hatten die Strahlen ihre Bahn vertauscht, so daſs diejenigen welche zuvor auf der Rechten waren, sich nach der Reflexion auf der Linken befanden, und umgekehrt. Nachdem sie abermals durch das Objectiv gegangen und wiederum unter sich parallel geworden, drangen sie aufs Neue in die Röhren, allein, da sie vertauscht worden, ging das Bündel, welches auf dem Hinwege die eine Röhre durchlaufen hatte, auf dem Rückwege durch die andere.

Nach diesem zweiten Durchgang durch die Röhren, gingen sie abermals durch die Doppelspalte, traten wieder in das erste Fernrohr und kamen in dessen Brennpunkt zur Interferenz, dabei die durchsichtige Glasplatte durchdringend. Hier bildeten sie vermöge ihrer Wechselwirkung

Digitized by Google

Interferenzfransen, die man mit einem, in seinem Brennpunkt mit Theilstrichen versehenen Ocular beobachtete.

Die Fransen müssen sehr breit seyn, um kleine Bruchwerthe von der Breite einer derselben bestimmen zu können. Ich habe gefunden, daſs dieſs, mit Beibehaltung einer groſsen Lichtstärke, gelingt, wenn man vor einer der Spalten eine dicke Glasplatte anbringt und sie dergestalt neigt, daſs man beide Spalten vermöge der Refraction näher zusammenliegend sieht als sie in Wirklichkeit sind. Auf diese Weise kann man den Fransen verschiedene Breiten geben und diejenige wählen, welche für die Beobachtungen am passendsten ist. Der dopppelte Durchgang des Lichts hatte den Zweck, die durchlaufene Länge des in Bewegung befindlichen Mittels zu vergröſsern, und überdieſs den Einfluſs einer zufälligen Verschiedenheit in Temperatur oder Druck zwischen den beiden Röhren ganz zu compensiren, denn daraus hätte eine Verschiebung der Fransen entstehen können, die sich mit der durch die Bewegung erzeugten vermengt, und somit die Beobachtung unsicher gemacht haben würde.

Leicht zu ersehen ist nämlich, daſs bei obiger Vorrichtung alle auf dem Wege des einen Strahls gelegenen Punkte sich auch auf dem Wege des anderen befinden, so daſs eine Dichtigkeitsveränderung in irgend einem Punkt der Bahn gleichmäſsig auf beide Strahlen wirken muſs und folglich keinen Einfluſs auf die Lage der Fransen haben kann. Daſs die Compensation wirklich total sey, davon versicherte man sich, indem man eine dicke Glasplatte bloſs vor einer der beiden Spalten anbrachte oder bloſs eine der Röhren mit Wasser füllte, während die andere Luft enthielt. Keine dieser beiden Proben veranlaſste die geringste Aenderung in der Lage der Fransen.

Dagegen sieht man, daſs die beiden Strahlen in Bezug auf Bewegung entgegengesetzten Einflüssen unterworfen sind.

Nimmt man nämlich an, in der rechts gelegenen Röhre flieſse das Wasser gegen den Beobachter, so wird der von

Digitized by Google

der Rechten kommende Strahl die Röhre im Sinne der Bewegung durchlaufen, der von der Linken kommende aber im entgegengesetzten Sinne der Bewegung.

Setzt man das Wasser in den beiden Röhren zugleich und im entgegengesetzten Sinn in Bewegung, so sieht man, daſs die Effecte sich addiren müssen. Nachdem dieser Doppelstrom erzeugt worden, kann man den Sinn zugleich in beiden Röhren umkehren und der Effect wird wiederum verdoppelt seyn.

Alle diese Bewegungen des Wassers wurden auf eine sehr einfache Weise erzeugt, indem jede Röhre durch zwei Abzweigungen (*embranchements*) nahe an ihren Enden mit zwei gläsernen Behältern in Verbindung stand, in welchen man abwechselnd durch comprimirte Luft einen Druck hervorbrachte. Unter Wirkung dieses Drucks floſs das Wasser durch die Röhre, deren Enden durch Glasplatten verschlossen waren, aus dem einen Behälter in den anderen. Die Röhren waren von Glas und hielten $5^{mm},3$ im inneren Durchmesser und $1^{m},487$ in Länge.

Der Druck, unter welchem das Flieſsen des Wassers stattfand, konnte zwei Atmosphären übersteigen. Die Geschwindigkeit wurde berechnet, indem man das Volum des in einer Sekunde ausgeflossenen Wassers durch den Querschnitt der Röhre dividirte. Um einen Einwurf, den man erheben könnte, vorzubeugen, muſs ich sagen, daſs man groſse Vorsicht getroffen hatte, alle zufällige Bewegungen zu vermeiden, welche der Druck und der Stoſs des Wassers hätten erzeugen können. So wurden die beiden Röhren und die Behälter, worin die Bewegungen des Wassers geschahen, durch Stützen getragen, die von den übrigen Theilen des Apparats, namentlich von den beiden Fernröhren, unabhängig waren. Es konnten also nur noch die Röhren eine zufällige Bewegung erleiden; Räsonnement und Erfahrung zeigten aber, daſs die Bewegungen und Biegungen der Röhren allein, ohne Einfluſs auf die Lage der Fransen waren.

Die Beobachtung ergab nun Folgendes:

Digitized by Google

Sobald das Wasser in Bewegung gesetzt wird, verschieben sich die Fransen, und je nachdem das Wasser sich in diesem oder jenem Sinn bewegt, findet die Verschiebung nach der Rechten oder Linken statt.

Die Fransen sind nach der Rechten verschoben, sobald das Wasser in der rechts liegenden Röhre von dem Beobachter fort, und in der links liegenden Röhre auf ihn zu getrieben wird.

Die Fransen sind nach der Linken verschoben, sobald der Strom in jeder Röhre die umgekehrte Richtung von der eben bezeichneten besitzt.

Schon wenn das Wasser eine Geschwindigkeit von zwei Metern in der Sekunde besitzt, ist die Verschiebung merklich; bei einer Geschwindigkeit von 4 bis 7 Metern ist sie vollkommen meſsbar.

Nachdem ich das Daseyn des Phänomens nachgewiesen, suchte ich den numerischen Werth desselben mit aller möglichen Genauigkeit zu bestimmen.

Heiſse einfache Verschiebung diejenige, welche entsteht, wenn das Wasser aus der Ruhe in Bewegung gesetzt wird, und doppelte Verschiebung diejenige, welche erfolgt, wenn die Bewegung in die umgekehrte verwandelt wird: so fand sich durch ein Mittel aus 19 ziemlich übereinstimmenden Beobachtungen für die einfache Verschiebung 0,23, also für die doppelte 0,46 der Breite einer Franse. Die Geschwindigkeit des Wassers betrug 7^{m},069 in der Sekunde.

Hierauf wurde dieſs Resultat verglichen mit denen, die sich durch Rechnung nach den verschiedenen Hypothesen über den Aether ergeben.

In der Voraussetzung eines ganz freien und von der Bewegung des Körpers unabhängigen Aethers müſste die Verschiebung Null seyn.

In der Hypothese, daſs der Aether mit den Molecülen der Körper vereinigt wäre, so daſs er Theil nähme an deren Bewegungen, gäbe die Rechnung für die doppelte Verschiebung den Werth 0,92. Die Beobachtung gab eine halb so groſse Zahl, nämlich 0,46.

Digitized by Google

In der von Fresnel angenommenen Hypothese, wo der Aether theilweise mitgezogen würde, giebt die Rechnung 0,40 d. h. eine der beobachteten sehr nahe kommende Zahl, und der Unterschied zwischen beiden würde sehr wahrscheinlich noch geringer geworden seyn, wenn es möglich gewesen wäre, in die Berechnung der Geschwindigkeit des Wassers eine Berichtigung aufzunehmen, die man in Ermangelung hinreichend genauer Data vernachlässigen mufste, nämlich die in Betreff der ungleichen Geschwindigkeit der verschiedenen Wasserfäden. Nach Abschätzung dieser Berichtigung auf die wahrscheinlichste Weise ersieht man, dafs sie die theoretische Zahl zu vergröfsern und folglich der beobachteten zu nähern strebt.

Ein ähnlicher Versuch wie der eben beschriebene wurde zuvor mit bewegter Luft angestellt, und ich habe dabei gefunden, *dafs die Bewegung der Luft durchaus keine merkliche Verschiebung der Fransen bewirkt.* Unter den Umständen, unter denen dieser Versuch gemacht wurde, und bei einer Geschwindigkeit von 25 Metern in der Sekunde, welche die Luft besafs, findet man, in der Hypothese der Fortschleppung des Aethers, dafs die doppelte Verschiebung 0,82 seyn müfste.

Nach der Hypothese von Fresnel würde dieselbe Verschiebung nur 0,000465 betragen, d. h. ganz unmerklich seyn. Die scheinbare Unbeweglichkeit der Fransen bei dem mit bewegter Luft angestellten Versuch ist also ganz im Einklang mit Fresnel's Theorie.

Als ich nach Festellung dieser negativen Thatsache dieselbe gemäfs den verschiedenen Hypothesen über den Aether zu erklären suchte, in solcher Weise, dafs zugleich dem Aberrationsphänomene und dem Versuch des Hrn. Arago genügt würde, schien es mir nothwendig, mit Fresnel anzunehmen, dafs die Bewegung der Körper eine Aenderung in der Geschwindigkeit des Lichts bewirken, und dafs diese Geschwindigkeitsänderung mehr oder weniger grofs sey für verschiedene Mittel, je nach der Stärke, mit welcher sie das Licht brechen; so dafs sie in

stark brechenden Körpern bedeutend, und in wenig brechenden, wie die Luft, sehr schwach sey.

Daraus folgte, daſs wenn die Fransen beim Durchgang durch bewegte Luft nicht verschoben wurden, sie dagegen bei Anstellung des Versuchs mit Wasser eine merkliche Verschiebung erleiden würden, da das Wasser einen viel bedeutenderen Brechungsindex als die Luft besitzt.

Ein von Hrn. Babinet angestellter und in den *Comptes rendus T. IX.* angeführter Versuch scheint im Widerspruch zu seyn mit der Hypothese einer Geschwindigkeitsänderung gemäſs dem Fresnel'schen Gesetz. Allein als ich die Umstände dieses Versuches in Erwägung zog, bemerkte ich eine Compensationsursache, welche den der Bewegung entspringenden Effect unmerklich machen muſste. Diese Ursache liegt in der Reflexion, welche das Licht bei diesem Versuch erleidet. In der That kann man beweisen daſs, sobald die Strahlen einen gewissen Gangunterschied unter sich besitzen, dieser Unterschied, vermöge der Reflexion an einem rotirenden Spiegel, geändert wird. Berechnet man die beiden Effecte in dem Versuch des Hrn. Babinet getrennt, so findet man, daſs sie fast gleiche, aber entgegengesetzte Werthe haben.

Diese Erklärung machte die Hypothese von einer Geschwindigkeitsänderung noch wahrscheinlicher, und ein mit bewegtem Wasser angestellter Versuch schien mir ganz geeignet, die Frage mit Sicherheit zu entscheiden.

Der Erfolg dieses Versuchs scheint mir die Annahme der Fresnel'schen Hypothese nach sich zuziehen oder wenigstens die des Gesetzes, welcher Derselbe aufgefunden, um die von der Bewegung der Körper hervorgebrachte Aenderung der Lichtgeschwindigkeit auszudrücken. Denn sobald dieses Gesetz sich als wahr erweiset, spricht es sehr stark zu Gunsten der Hypothese, von welcher es nur eine Folgerung ist; vielleicht erscheint die Conception von Fresnel so auſserordentlich und in mancher Beziehung so schwierig annehmbar, daſs es nach anderen Proben und einer gründ-

Digitized by Google

gründlichen Untersuchung von seitens der Mathematiker bedarf, ehe man sie als Ausdruck der Wirklichkeit zulassen kann.

X. *Chemische Untersuchung des Katapleiits, eines neuen Minerals von Lamö in Norwegen; von K. A. Sjögren.*

(*Kongl. Vetens. Acad. Handl. f.* 1849.)

Das Mineral, welches den Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes bildet, ist von Hrn. Weibye in Kragerö entdeckt, und mir von ihm zur Untersuchung mitgetheilt worden. Derselbe beschreibt den Katapleiit folgendermaſsen:

»Der Name spielt auf das Vorkommen des Minerals an, da es immer von mehren seltenen Mineralen begleitet wird (*καταπλειον*).«

»Das Krystallsystem ist wahrscheinlich klinorhombisch. Es kommen nur unvollkommene Krystalle vor, welche ein Prisma von etwa 120° bilden, mit einer unter 120° schief geneigten basichen Fläche. Zuweilen findet man eine Spur von mehren verticalen Flächen.«

»Die Spaltbarkeit ist vollkommen nach der basischen Fläche; gewöhnlich findet man eine krummschalige Absonderung, welche nicht verwechselt werden darf mit dem krystallinischen Bruch, welcher splittrig ist. Die Krystallflächen haben matten oder schwachen Glanz, die Bruchflächen matten, und die Spaltungsflächen theils matten, theils schwachen Glasglanz.«

»Die Farbe ist hell gelbbraun; undurchsichtig oder bloſs durchscheinend. Strich: isabellgelb. Härte: ungefähr wie Feldspath. Specifisches Gewicht $=2,3$.«

»Verhalten vor dem Löthrohr: Für sich schmilzt der Katapleiit leicht zu einem klaren weiſsen Email, mit Borax

Digitized by Google

oder Phosphorsalz läſst er sich schwierig zu einem k
farblosen Glase auf. Kobaltsolution giebt der Probe
schön blaue Farbe. Gepülvert wird er von Säuren
und ohne Gelatinirung zersetzt.«

»Das Mineral findet sich in einem grobkörnigen S
auf der Lamö (Lamanskär) bei Brevig, immer be
von Mosandrit, Leukophan, Zirkon, Aegirin, Tritomit u.

Das Mineral, welches Hr. Weibye mir unter de
men *Katapleiit* übersandt hat, und dessen chemisch
tersuchung ich mich nun beehre mitzutheilen, stimm
obiger Beschreibung überein. Jedoch habe ich gef
daſs es bei Zersetzung mit Salzsäure gelatinirt, und
sein specifisches Gewicht, nach drei Versuchen =
bis 2,81 ist.

Nachdem durch eine qualitative Untersuchung er
worden, daſs das Mineral enthält: Kieselsäure, *ein*
Zirkonerde gleichende Erde, Natron, Kalk, Thonerde
senoxydul, nebst einer unbedeutenden Spur von Talk
Mangan, wurde die quantitative Untersuchung nach
verschiedenen Methoden vorgenommen.

Bei der Analyse No. 1 wurde das über Schwefel
zu einem constanten Gewicht getrocknete Minera
Chlorwasserstoffsäure zerlegt. Nachdem die Kiesel
unter Zusatz einiger Tropfen Salpetersäure, auf ge
liche Weise abgeschieden und dem Gewichte nach
stimmt worden, wurde sie mit kohlensaurem Natro
brennt und wieder ausgelatinirt. Aus der dabei erhal
sauren Auflösung fällte Ammoniak eine kleine Menge
Erde, deren Gewicht von dem der Kieselsäure abge
wurde. Die saure Flüssigkeit, aus welcher die Kiesel
zum ersten Male geschieden worden, wurde mit Amm
gefällt und der Niederschlag auf ein Filtrum gebrach
der durchgegangenen Flüssigkeit wurde der Kalk als
lensaurer Kalk, und das Natron als Chlornatrium besti
Aus dem mit Ammoniak erhaltenen, geglühten und ge
ten Niederschlag, welcher aus Zirkonerde nebst e
Thonerde und Eisenoxyd bestand, wurden die beiden

Digitized by Google

teren durch warme Chlorwasserstoffsäure ausgezogen und mit ätzendem Kali abgeschieden. Hiedurch wurde die Erde zwar nicht ganz eisenfrei, aber ihr Eisengehalt machte nur eine Spur aus. Der Wassergehalt wurde in einem besonderen Versuch durch Glühen bestimmt.

Bei der Analyse No. 2 bestimmte ich zuerst den Verlust des über Schwefelsäure getrockneten Minerals beim Glühen und brennte darauf das geglühte Mineral mit kohlensaurem Kali-Natron. Die aus der gebrennten Masse ausgelatinirte Kieselsäure wurde wieder mit dem Alkali gebrennt, wodurch ein kleiner Antheil Erde ausgezogen wurde. Aus der zum ersten Male von der Kieselerde abfiltrirten Flüssigkeit fällte man Zirkonerde, Thonerde und Eisenoxyd durch Ammoniak, und bestimmte in dem Durchgegangenen den Kalkgehalt. Der Niederschlag durch Ammoniak wurde in Chlorwasserstoffsäure gelöst und mit ätzendem Kali behandelt, wodurch Thonerde ausgezogen wurde, die man sodann auf gewöhnliche Weise bestimmte. Die ungelöste Zirkonerde wurde wieder in Säure gelöst, und, zur Abscheidung des anhängenden Alkalis, mit Ammoniak ausgefällt, dann geglüht und gewägt.

Der kleine Eisengehalt wurde mit warmer Chlorwasserstoffsäure ausgezogen. Der Natrongehalt ward bei dieser Analyse durch einen besonderen Versuch bestimmt. Der Gehalt an Kieselsäure ist bei diesen Analysen wahrscheinlich etwas zu niedrig ausgefallen, weil die Unlöslichkeit der geglühten Zirkonerde in Säuren nicht die Bestimmung der Kieselsäure zuläſst, welche dem Niederschlag durch Ammoniak mitfolgt. Dagegen ist der Gehalt an Zirkonerde etwas zu hoch, theils wegen des kleinen Kieselsäuregehalts, theils wegen eines unbedeutenden Eisengehaltes. Dazu kommt ein kleiner Alkaligehalt, welcher, ungeachtet mehrmaliger Fällungen durch Ammoniak, der mit Alkali behandelten Zirkonerde folgt; davon dürfte der Ueberschuſs bei den Analysen herrühren.

Das Resultat dieser beiden Analysen war folgendes:

30 *

Digitized by Google

No. 1.

Mineral zerlegt durch Chlorwasserstoffsäure.

			Sauerstoffgehalt.	
Kieselsäure	46,83		24,31	6
Zirkonerde (?)	29,81	7,85	8,06	2
Thonerde	0,45	0,21		
Natron	10,83	2,77	3,92	1
Kalk	3,61	1,02		
Eisenoxydul	0,63	0,13		
Wasser	8,86		7,88	2
	101,02.			

No. 2.

Mineral durch kohlensaures Kali-Natron zerlegt.

Kieselsäure	46,52		24,15	6
Zirkonerde (?)	29,33	7,72	8,37	2
Thonerde	1,40	0,65		
Natron	10,06	2,58	4,02	1
Kalk	4,66	1,33		
Eisenoxydul	0,49	0,11		
Wasser	9,05		8,04	2
	101,51.			

Ueberdieſs bei beiden Analysen eine Spur von Mangan, Talk und Kali.

Nehmen wir an, das Atomgewicht derjenigen Erde, die in obigen Analysen Zirkonerde genannt wurde, sey 1139,456 so erhält die Formel, welche mit ihnen am meisten übereinstimmt, das Ansehen:

$$3(\dot{Na}, \dot{Ca}, \dot{Fe})\dddot{Si} + (\dddot{\bar{Zr}}^2, \dddot{Al}^2)\dddot{Si}^3 + 6\dot{H}$$

oder

$$3\dot{Na}\dddot{Si} + \dddot{\bar{Zr}}^2\dddot{Si}^3 + 6\dot{H}$$

nach welcher die procentische Zusammensetzung wird:

Kieselsäure	6 At.	= 3466,668	= 45,68
Zirkonerde	2 »	= 2278,912	= 30,03
Natron	3 »	= 1169,187	= 15,40
Wasser	6 »	= 674,880	= 8,89
		7589,647	100,00.

Digitized by Google

Die im Katapleiit vorkommende Erde habe ich einstweilen Zirkonerde genannt, weil sie in vielen Fällen der Erde gleicht, welche in den Zirkonen und Hyazinthen enthalten und nach Svanberg ein Gemenge von mehren Erdarten ist. So wird die in Rede stehende Erde durchs Glühen unlöslich in Säuren, löst sich aber beim Schmelzen mit saurem schwefelsauren Natron. Ihre Lösung wird durch schwefelsaures Kali gefällt. Im kohlensauren Ammoniak ist sie löslich. Mit Chlorwasserstoffsäure giebt sie ein krystallisirendes Salz, welches bei gelinder Erhitzung einen Theil seiner Säure verliert, und in Wasser unlöslich wird. Aber in anderen Fällen weicht sie ab von den Eigenschaften welche der Zirkonerde zugeschrieben werden, nämlich:

1) Wird das specifische Gewicht der Zirkonerde zu 4,3 angegeben, während die Erde des Katapleiits das specifische Gewicht 5,5 besitzt.

2) Berzelius hebt es in seinem Lehrbuch [1]) und auch in seiner Abhandlung über die Thorerde [2]) als eine Verschiedenheit der Thorerde von der Zirkonerde hervor, daſs die Lösung der letzteren nicht durch Cyaneisenkalium gefällt werde. Die in Rede stehende Erde wird dagegen durch dieses Reagenz gefällt, was auch, nach H. Rose, mit der Zirkonerde der Fall seyn soll.

3) Die Zirkonerde giebt mit der Oxalsäure ein Salz, welches in einem Ueberschuſs von Oxalsäure unlöslich, und in anderen Säuren schwer löslich ist. Darauf gründet sich die von Dubois und Silveira angegebene Methode, Zirkonerde von Eisenoxyd zu reinigen, nämlich, dieselbe mit einer Lösung von Oxalsäure zu kochen, wobei sich dann das Eisenoxyd löst, die oxalsaure Erde aber ungelöst zurückbleibt. Eine nicht saure Lösung der Erde aus dem Katapleiit wird wohl vom oxalsauren Ammoniumoxyd gefällt; aber dieser Niederschlag, welcher zwar schwer löslich in Wasser ist, löst sich nicht nur in einem Ueber-

1) Lehrbuch, 5te Aufl. Thl. III. S. 506

2) *Vetensk. Acad. Handl.* 1829. *p.* 16. (Ann. Bd. XVI, S. 395.)

Digitized by Google

schuſs des Fällmittels, mit welchem es ein krystallisirendes Doppelsalz bildet, sondern auch in einem geringen Zusatz von aufgelöster Oxalsäure oder von Chlorwasserstoffsäure. Eine saure Lösung wird weder von Oxalsäure noch von dessen Ammoniumsalz gefällt. Ebenso löst sich das Hydrat der Erde bei gewöhnlicher Temperatur mit Leichtigkeit in einer Lösung von Oxalsäure.

Da die Erde, welche zu ungefähr 30 Proc. im Katapleiit vorkommt, sich besonders durch ihr Verhalten zur Oxalsäure bestimmt von der Zirkonerde unterscheidet, wie sie von Berzelius, Herrmann und H. Rose beschrieben worden ist, so dürfte sie ohne Zweifel eine von der Zirkonerde verschiedene Erdart seyn.

In wiefern sie identisch sey mit einer der mehr als zwei Erden, welche nach Svanberg in den nordischen Zirkonen vorkommen, von denen eine Norerde genannt worden ist, habe ich nicht entscheiden können, weil einige bestimmte Reactionen der Norerde noch nicht aufgefunden oder angegeben sind. Zwar giebt Svanberg an [1]), daſs unter den Erdarten im norwegischen Zirkon das oxalsaure Salz der einen sich schwerlöslicher in Säuren als das oxalsaure Salz einer anderen erweise; aber es ist wenig wahrscheinlich, daſs bei einem dieser Salze eine so auffallende Leichtlöslichkeit, wie die, welche das oxalsaure Salz der Erde aus dem Katapleiit auszeichnet, nicht sollte angeführt worden seyn als charakteristische Eigenschaft der Norerde oder sonst einer der Erden des Zirkons.

Ungeachtet dieser Unvollständigkeit in den Angaben über die im Katapleiit vorkommende Erde wage ich es die Resultate der Analyse dieses Minerals der K. Academie vorzulegen. Beschäftigt in diesem Augenblick mit einigen vergleichenden Versuchen über die Erdarten im norwegischen Zirkon und der Erde im Katapleiit, könnte ich möglicherweise künftig in den Fall kommen, einige nähere Angaben in Betreff der letzteren mitzutheilen.

1) *Kongl. Vetensk. Acad. Handl. f.* 1845 *p.* 35. (Ann. Bd. 65, S. 317.)

XI. *Neues Psychrometer; von Hrn. H. Walferdin*
(*Compt. rend. T. XXXIII.*, *p.* 454.)

Eins der einfachsten Verfahren, welches man gegenwärtig anwendet, um den Feuchtigkeitszustand der Luft zu ermitteln, besteht darin, daſs man die Angaben eines trocknen Thermometers vergleicht mit denen eines anderen Thermometers, dessen Kugel feucht gehalten wird. Das letztere steht tiefer als das erstere und daraus leitet man mittelst Tafeln die Spannkraft des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes her. Auf diesem Princip beruht die Construction des Instruments, welches gegenwärtig unter dem Namen des *August'schen Psychrometers* bekannt ist.

Zu diesem Apparat sind zwei genau übereinstimmende Thermometer erforderlich, die wenigstens noch Zehntelgrade angeben. Sie sind neben einer Metallscale angebracht und die Kugel des einen ist umhüllt mit Battist oder Musselin, der durch einen in ein Näpfchen voll Wasser tauchenden Faden feucht erhalten wird. Allein man weiſs, welche Schwierigkeit es hat, zwei bis auf Zehntelgrade übereinstimmende Thermometer zu verfertigen, vor allem, wenn sie nicht auf dem Stiel selbst getheilt, sondern neben einer Scale aufgestellt sind. Die beiden so aufgestellten Instrumente sind überdieſs nothwendig den Fehlerquellen ausgesetzt, welche die Strahlung der Umgebung am Orte der Beobachtung veranlaſst. Endlich ist der Apparat schwer zu transportiren und auf Reisen mitzunehmen.

Erwägt man, daſs die gröſsten Unterschiede, die man bisher in Europa zwischen den Thermometern mit trockner und feuchter Kugel beobachtet hat, nicht über 10 bis 12 Centesimalgrade hinausgehen, so wird man begreifen, daſs ein Instrument, welches auf der ganzen Länge seines Stiels höchstens 15 Grad besitzt, aber diesen Werth bei allen Temperaturen der Atmosphären bewahrt, die Bedingungen zu dieser Art von Beobachtungen am besten erfüllen wird.

Digitized by Google

Hat der Stiel des Instruments z. B. eine Länge von etwa 3 Decimeter (11 par. Zoll), so kann er in 8 bis 900 Theile getheilt werden, und da dann jeder Grad 50 bis 60 solcher Theile umfaſst, so ist es leicht, nicht allein Zehntel sondern gar Funfzigstel und Sechszigstel eines Grades abzulassen.

Der Vortheil der Anwendung dieses Instruments würde noch gröſser, wenn es für sich allein im Stande wäre, die beiden Angaben des trocknen und des feuchten Thermometers zu liefern. Vom identischen Gang in beiden Fällen, würde es somit strenge vergleichbar mit sich bei beiden Beobachtungen.

Die Anwendung des Differentialthermometers, welches ich der Academie in ihrer Sitzung von 10. Jan. 1842 vorlegte, scheint mit den eben bezeichneten Bedingungen zu genügen [1]).

Um dasselbe zweckmäſsig zu construiren, muſs man, wie ich angegeben habe, sich einer Röhre von solcher Capillarität bedienen, daſs, nachdem man das eine Ende derselben zu einem Behälter ausgeblasen hat, Quecksilber nicht auf die gewöhnliche Weise in dieselbe hinein zu bringen ist, wohl aber Alkohol, indem er sie inwendig benäſst. Die somit durch Alkohol benäſsten Wände der Röhre erlauben einem Quecksilbertröpfchen den Eingang und dieses Kügelchen dient dann als Zeiger.

Das Tröpfchen wird in einer kleinen seitlichen Erweiterung des oberen Theils des Instruments zurückgehalten, und nach Belieben in die Röhre gestoſsen. Vermöge der Ausdehnung oder Zusammenziehung, welche der Alkohol erfährt, sinkt oder steigt es darin und bewegt sich bei der geringsten Temperaturveränderung mit Schnelligkeit.

Man begreift, daſs der Behälter des so construirten Alkohol-Differentialthermometers vermöge der Capillarität

1) Rücksichtlich der verschiedenen Formen, die man diesem Instrumente, je nach seiner Bestimmung, zu geben hat, sehe man die Abbildungen im *Bulletin de la Société Géologique de France T. XIII.* und in Poggendorff's Annalen Bd. LVII..

Digitized by Google

der Röhre nur eine sehr unbedeutende Gröſse zu haben braucht, und daſs er beträchtlich kleiner seyn kann als der Behälter eines Quecksilberthermometers mit der capillarsten Röhre. Man erhält auf diese Weise Instrumente von umfangreichem Gang, obwohl ihre Kugel ein sehr kleines Volum besitzt.

Ehe ich zeige, wie ich dieses Instrument zu den besagten Untersuchungen anwende, muſs ich daran erinnern, daſs das üblichste und einfachste Verfahren zur Bestimmung der Lufttemperatur darin besteht, daſs man ein Thermometer mit keinem Behälter im Kreise herumschwenkt; man sucht auf diese Weise die Fehlerquellen zu vermeiden, welche dergleichen Beobachtungen anhaften, wenn das Thermometer an seinem Orte bleibt.

Indem ich nun ein und dasselbe Instrument, welches nur 12 bis 15 Grade umfaſst, für die eine und die andere Beobachtung im Kreise herumschwenke, mache ich es geeignet, psychrometrische Angaben zu liefern.

Nachdem ich das Instrument die Temperatur der Umgebung habe annehmen lassen, stoſse ich den Quecksilbertropfen aus der seitlichen Erweiterung am Eingang der Röhre, und schwenke es dann an einer seidenen Schnur von 1 bis 1,5 Decimeter Länge im Kreise herum. Da hiebei gewöhnlich eine Temperatursenkung stattfindet, so begiebt sich der Quecksilbertropfen in den oberen Theil des Stiels, und man liest die erste Angabe mit Leichtigkeit ab. Sollte die Temperatur nicht sinken, so braucht man sie nur, durch Annäherung der Hand an den Behälter des Instruments, ein wenig zu erhöhen, damit das Quecksilbertröpfchen hernach bei der gewöhnlichen Temperatur in den Stiel sinke.

Hierauf bekleide ich die Kugel des Instruments mit einer doppelten Hülle von benäſstem Battist oder Mousselin, binde diese an den Hals des Stiels fest und schwenke nun das Ganze abermals im Kreise herum. Bald findet die Erkaltung statt und ich notire wiederum die Angabe.

Es ist leicht, aus der Gröſse der Kugel, die Zeit und

Digitized by Google

Schnelligkeit im Voraus zu bestimmen, welche das Instrument erfordert, um sich mit den schwächsten Temperaturvariationen in Gleichgewicht zu setzen. Jedoch zeigt das Quecksilbertröpfchen, bewegt durch die Contraction des Alkohols, das Minimum der Temperatur, dem es ausgesetzt war, erst einige Sekunden nach dem man es herumgeschleudert hat, an, und dadurch gewinnt man den Vortheil, die Ablesung bei beiden Beobachtungen nicht eher machen zu brauchen als im Moment, wo das Tröpfchen aufhört im Stiel zu sinken.

Endlich bemerke ich, daſs man sogar die nasse Mousselinhülle bei der zweiten Beobachtung entbehren könnte, wenn man der Kugel des Instrumentes eine ganz rauhe Oberfläche gäbe oder auf dem Stiel einige Rinnen anbrächte, von solcher Tiefe, um Feuchtigkeit zurückzuhalten, während das Thermometer herumgeschleudert wird.

Ich halte es nicht für unnütz hier anzugeben, wie es mir gelungen ist, Röhren zu aichen (*jauger*), die so capillar sind, daſs man das Quecksilber durch die gegenwärtig zur Construction der genauesten Thermometer angewandten Verfahrungsweisen nicht hineinbringen kann.

Erst nachdem das Instrument mit Alkohol gefällt worden, ist es möglich eine Quecksilbersäule von 15 bis 18 Millimeter hineinzubringen und diese führt man den ganzen Stiel entlang und merkt sich ihre Enden, um so mittelst einer willkührlichen Scale von Abtheilungen gleicher Capacität die Cylindricitätsmängel des Stiels zu compensiren. Nach Vollendung dieser Operation treibt man die aichende Quecksilbersäule heraus und ersetzt sie durch die, welche als Zeiger dient, und nur 2 bis 3 Millimeter lang ist. Darauf verschlieſst man das Instrument vor der Lampe.

Bei der Construction dieser Instrumente, was auch ihr Zweck seyn möge, hat man besonders darauf zu sehen, daſs Alkohol und Quecksilber vollkommen rein seyen, und ein fremder Körper z. B. ein mikroskopisches Glassplitterchen, wie es vor der Lampe nur gar zu leicht abspringt, den Gang derselben nicht störe.

Ich füge hinzu, daſs eine im Voraus entworfene Tafel

Digitized by Google

die Anzahl der einem Grade entsprechenden Abtheilungen von 5 zu 5 oder von 10 zu 10 Graden kennen lehrt, so daſs man, bei welcher Temperatur man auch die beiden Beobachtungen machen möge, genau die Angabe von dem Werthe der Unterschiede bei beiden Beobachtungen erhält, gleichviel, ob man nun bloſs die relativen oder die absoluten Werthe suche.

Man sieht, wie man mit einem einzigen thermometrischen Instrument, dessen Behälter nur 3 bis 4 Millimeter im Durchmesser hält und dessen Gang nur 15 Grade umfaſst, von denen aber jeder wenigstens in 50 Theile getheilt ist, dahin gelangt die Temperatur des trocknen und des feuchten Behälters innerhalb der Gränzen, für welche das August'sche Psychrometer eingerichtet ist, mit aller möglichen Genauigkeit zu bestimmen.

Mittelst des vorgeschlagenen Psychrometers sind die Fehler, die aus der Anwendung zweier, an einer und derselben Scale (*plaque*) angebrachter Thermometer entspringen [1]), vermieden und der Feuchtigkeitszustand der Luft wird sich künftig auf Reisen ebenso leicht wie der Barometerstand beobachten lassen.

XII. *Ein neuer Zerleger für elliptisch polarisirtes Licht; vom Prof. Stokes in Cambridge.*

(*Phil. Mag. Ser. IV. T. II. p.* 420.)

Die Unbequemlichkeiten des Fresnel'schen Rhomboëders haben Hrn. Prof. Stokes veranlaſst, statt dessen ein Instrument von folgender Einrichtung zu construiren.

Ein messingener Ring ist so gefaſst, daſs er mit lothrechter Ebene auf einen Tisch gestellt werden kann. Innerhalb dieses Ringes dreht sich eine graduirte Scheibe,

1) Schwerlich dürfte indeſs bei uns ein Psychrometer angewandt werden, von dessen Thermometern nicht jedes eine Scale für sich besäſse. P.

Digitized by Google

und der Winkel ihrer Drehung wird an Nonien auf der Vorderseite des Ringes bis auf Zehntelgrade abgelesen. Die Scheibe ist in der Mitte durchbohrt und trägt auf Seite des einfallenden Lichts eine verzögernde Gypsplatte von solcher Dicke, daſs sie zwischen den unter sich winkelrecht polarisirten Strahlen einen Verzögerungsunterschied von etwa einer Viertelwelle giebt. Vorne trägt sie, concentrisch mit sich, einen hohlen Cylinder, um welchen sich eine Fassung dreht, die ein Nicol'sches Prisma enthält und mit zwei Nonien versehen ist, an welchen man den Winkel der Drehung des Prismas abliest. Dadurch kann das Prisma sowohl für sich, als zugleich mit der verzögernden Platte im Azimut gedreht werden.

Beim Beobachten wird das Licht durch eine Combination zweier Bewegungen ausgelöscht, nämlich erst das elliptisch polarisirte Licht durch die verzögernde Platte in geradlinig polarisirtes verwandelt und dieses dann durch das Nicol'sche Prisma vernichtet. Wegen der chromatischen Variationen wird jedoch das Licht, strenge genommen, nur dann ausgelöscht, wenn es homogen ist, sonst nur auf ein Minimum reducirt; und für jede Lage giebt es vier untergeordnete Lagen, weil entweder die verzögernde Platte oder das Nicol'sche Prisma um 180° gedreht werden kann. Der gröſseren Genauigkeit wegen, kann aus diesen vier untergeordneten Lagen das Mittel genommen werden.

Seyen R und R' die Ablesungen der festen, r und r' die der beweglichen Nonien in den beiden Hauptlagen; I der Indexfehler der festen Nonien d. h. das Azimut der groſsen Axe der beschriebenen Ellipse, gemessen von einer in der Scheibe festen Ebene aus; i der Indexfehler der beweglichen Nonien, d. h. der Azimut der Hauptebene des Prisma, gemessen von einer festen Ebene in der Scheibe aus; ω der Winkel, dessen Tangente gleich ist dem Verhältniſs der Axen der beschriebenen Ellipse; ϱ der Unterschied in der Verzögerung der beiden durch die Platte gehenden unter sich winkelrecht polarisirten Strahlen, gemessen als ein Winkel im Verhältniſs von 360° zu einer Un-

Digitized by Google

dulation. Dann werden die unbekannten Gröſsen I, i, ω und ϱ gegeben in Function der bekannten Gröſsen R, R', r und r' durch die folgenden Formeln, die für die numerische Berechnung sehr bequem sind:

$$I = \tfrac{1}{2}(R' + R); \qquad i = \tfrac{1}{2}(r' + r)$$

$$\cos 2\omega = \frac{\sin(r' - r)}{\sin(R' - R)}; \qquad \cos\varrho = \frac{\operatorname{tang}(r' - r)}{\operatorname{tang}(R' - R)}.$$

Hr. Stokes giebt an, daſs dieſs Instrument, nach einiger Uebung sehr befriedigende Resultate liefere. Als Wolkenlicht an einem Spiegel horizontal reflectirt, und dann so modificirt wurde, daſs es elliptisch polarisirtes Licht mit einem Axenverhältniſs von etwa 3:1 gab, fand sich, daſs der mittlere Fehler einer einzelnen Beobachtung in der Bestimmung des Azimuts der groſsen Axe etwa ein Viertelgrad, in der Bestimmung des Verhältnisses der kleinen zur groſsen Axe etwa drei bis vier Tausendstel, und in der Bestimmung von ϱ etwas mehr als ein Tausendstel einer Undulation betrug.

Da die Gröſse von ϱ von der Wellenlänge oder, was auf dasselbe hinausläuft, von der Brechbarkeit des Lichts abhängt, so folgt, daſs die Kenntniſs des ersteren zur Kenntniſs der letzteren führt. Man kann also sagen, das Instrument bestimme Azimut und Excentricität der beschriebenen Ellipse und die Brechbarkeit des Lichts. Ein Fehler von 0,001 einer Undulation in der Bestimmung von ϱ würde in dem Orte des untersuchten Lichts im Spectrum einem Fehler von weniger als dem zwanzigsten Theil des Abstandes zwischen den festen Linien D und E entsprechen. Nun ist es durch Anwendung der beobachteten Media möglich, ohne zu groſse Schwächung des angewandten Lichts, dessen mittlere Brechbarkeit bedeutend zu ändern, und dennoch kann für jedes Medium die Brechbarkeit sehr genau mittelst des Werthes von ϱ bestimmt werden. Daher eignet sich dann das Instrument besonders zu Untersuchungen über die Dispersion der Metalle und zu ähnlichen Aufgaben.

Digitized by Google

XIII. *Notiz über den Sommit (Nephelin) Mizzonit und Mejonit; von Arcangelo Scacchi.*

Sommit (Nephelin) Fig. 16 Taf. II. (Heft II).

Gemessene Winkel.	Berechnete Winkel.	Winkel nach der Angabe vom Jahr 1842[1]).	Bezeichnung.
A zu *e* : 158° 52′	158° 54′ 5	—	von *e* = *a* : 5 *b*
* *A* zu e^2 : 154° 15′ 5	154° 15′ 5	154° 14′	von e^2 = *a* : 4 *b*
A zu e^3 : 147° 18	147° 15′ 8	147° 16′	von e^3 = *a* : 3 *b*
A zu e^4 : 136°	136° 2′ 4	136° 1′	von e^4 = *a* : 2 *b*
A zu e^5 : 117° 22′	117° 24′ 4	117° 23′	von e^5 = *a* : *b*
A zu e^6 : 104° 35′	104° 32′ 0	146° 32′	von e^6 = *a* : $\frac{1}{2}$ *b*
A zu e^7 : 99° 45′	99° 48′ 2	—	von e^7 = *a* : $\frac{1}{3}$ *b*
A zu *m* : 121° 0°	120° 54′ 4	120° 53′	von *m* = *a* : $\frac{4}{3}$ *b*
A zu *B* : 90°	90°	90°	
B zu *i* : 150°	150°	150°	
B zu i^2 : 160° 47′	160° 53′	160° 53′.	

Alle diese Flächen finden sich an einem Krystall von der Varietät, die man Davyn nennt, der einen sehr deutlichen Blätterdurchgang nach der Fläche *B* zeigt. Diese Krystalle waren in einer Kalkgeode vom Monte Somma mit grünlichen Sodalitkrystallen.

Mizzonit Fig. 17 und Mejonit Fig. 18 Taf. II.

Gemessene Winkel des Mizzonits.	Gemessene Winkel des des Mejonits.
B zu *m* = 147° 57′	
m zu *m′* = 115 52	*m* : *m′* = 116° 20′
m zu *m″* = 135 56	*m* : *m″* = 136 11.

Der Mizzonit ist dadurch vom Mejonit verschieden, daſs die Flächen *i* sehr viel ausgedehnter sind als die Fläche *B* und daſs sie *Längsstreifung* zeigen. Die Fläche *A* findet sich häufig am Mizzonit und nur sehr selten am Mejonit; bis jetzt habe ich keine der übrigen Mejonitflächen am Miz-

1) Notiz über die Krystallform des Sommits im *Rendi conto della R. Academia delle Scienze di Napoli No.* 2 *p.* 129 u. ff.

Digitized by Google

zonit gefunden. Dieſs seltene Mineral findet sich in einem Gestein des Monte Somma, das zum gröſsten Theil aus Feldspath besteht, während der Muttergestein des Mejonits fast immer Kalk ist. Beim Schmelzen bläht sich der Mizzonit nicht so sehr auf als der Mejonit, und löst sich auch nicht so leicht als dieser in Säuren. Oft finden sich die Mizzonitkrystalle als perlmutterglänzende Nadeln.

XIV. *Notizen.*

---

1. *Formel für die Ausdehnung einiger Flüssigkeiten durch die Wärme*; von Hrn. M. J. Macquorn Rankine. Die Formel gilt für Wasser, Quecksilber, Alkohol und Schwefelkohlenstoff u. dgl. und ist:

$$\text{Log}\, V = Bt + \frac{C}{t} - A.$$

Log V ist der gemeine Logarithme des Volums der Flüssigkeit, verglichen mit deren Volum bei der Normaltemperatur, die für Wasser 4°,1 C. und für die übrigen Flüssigkeiten 0° C. ist; t bezeichnet die Temperatur, gemessen vom absoluten Nullpunkt, und wird nach dem Verfasser (*New. Philosoph. Journ.* 1849 *Juli*) gefunden, wenn man 274°,6 zu den Graden der Centesimalscale addirt. A, B und C sind Constanten, die von der Natur der Flüssigkeiten abhängen und folgende Werthe haben

	A.	log B.	log C.
Wasser	0,4414907	0,8987546 — 4	1,7890286
Quecksilber	0,0229130	0,9048766 — 5	0,3703897 — 1
Alkohol	0,2615033	0,8414452 — 4	1,2893056
Schwefelkohlenstoff	0,2540074	0,8483872 — 4	1,2192054

Der Vergleich der nach dieser Formel berechneten Werthe mit den von Hällström, Gay-Lussac und Regnault beobachteten, zeigt eine sehr genügende Uebereinstimmung (Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Edinb. New. Phil. Journ.* 1849 *Oct.*)

Digitized by Google

2. *Gesetz der Zusammendrückbarkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.* Aus den Versuchen von Grassi (*Compt. rend. T. XXVII. p.* 135) findet Hr. W. J. Macquorn Rankine folgendes Gesetz: *die Zusammendrückbarkeit des Wassers ist umgekehrt proportional der Dichtigkeit, multiplicirt mit der Temperatur, diese gemessen vom absoluten Nullpunkt eines vollkommenen Luftthermometers* d. h. von — 274°,6 C. oder — 462°,28 F. Symbolisch ausgedrückt heiſst es:

$$\mathfrak{b} = \frac{1}{KtD},$$

worin $\mathfrak{b}$ der Bruch, um welche die Volumeinheit des Wassers durch den Druck von einer Atmosphäre comprimirt wird, *D* die Dichte des Wassers, dabei die Maximums-Dichte als Einheit genommen, *t* die Temperatur, vom absoluten Nullpunkt gezählt; und *K* eine Constante, die für die Centesimalscale 72 Atmosphären pro Grad, und für Fahrenheit's Scale 40 Atmosphären pro Grad beträgt. Diese Formel liefert folgenden Vergleich:

t.	Compressibilität pro Atmosph.		Unterschied.
	berechnet.	beobachtetet.	
0° C.	0,000050504	0,000050560	— 0,000000024
10 ,8	48679	48705	+ 26
13 ,4	48252	48378	+ 126
15 ,5	47915	47745	— 170
25 ,9	46353	45843	— 510
34 ,8	45140	45573	+ 433
43 ,0	44158	44414	+ 256
53 ,3	42931	44336	+ 1405

D ist nach Formel S. 479 berechnet. Die Zusammendrückbarkeit des Wassers folgt also demselben Gesetz wie die eines Gases (*Phil. Mag. Ser. IV. Vol. I. p.* 549.)

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 4.

I. *Sieben und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser aus den *Philosoph. Transact f.* 1851.)

§. 33. Ueber den atmosphärischen Magnetismus, Fortsetzung.

II. Experimentelle Untersuchung der Gesetze der magnetischen Wirkung der Atmosphäre und deren Anwendung auf besondere Fälle.

2969. In dem Glauben, das Experiment könne zur Entwicklung der allgemeinen Principien des atmosphärischen Magnetismus viel beitragen und rasch eine Masse von Thatsachen sammeln, auf welche dann später die Physiker weiter zu bauen vermöchten, bemühte ich mich, Mittel aufzufinden, um die Wirkung der durch die Sonne erwärmten Atmosphäre auf die Magnetcurven der Erde practisch darzustellen. Die Absicht war, eine centrale Kraft-Anordnung zu erhalten, welche diese Curven oder Linien ablenkte, wie sie in einem diamagnetischen Leiter oder einer heiſsen Luftkugel (2877) abgelenkt werden, und dann die durch eine solche Anordnung erhaltenen Resultate anzuwenden als ein partielles Prüfmittel der mannigfaltigen Fälle, welche uns die auf der Erde zerstreuten magnetischen Observatorien darbieten. Zunächst bemühte ich mich, der Bequemlichkeit halber, dieſs mittelst eines Hufeisenmagnets zu erreichen, indem ich die von Pol zu Pol gehenden Linien anwandte, die Erdkraft zu stören und wieder herzustellen; allein die verhältniſsmäſsige Schwäche der Erdkraft in der Nähe des Magnets und das starke Vorherrschen der Pole des letztern gaben zu vielen Uebelständen Anlaſs, welche mich bald bewogen, diese Methode zu verwerfen und ein Ringgewinde

Digitized by Google

(*ring-helix*) nebst einem Volta'schen Apparat zu Hülfe zu nehmen. Der neue Gebrauch, der hier von diesem Gewinde gemacht wird, das Interesse der Resultate und die daraus zu ziehende Belehrung, mögen mich entschuldigen, wenn ich in der Beschreibung des Charakters und der Wirkung desselben etwas elementar bin.

2970. Das Gewinde bestand aus etwa 12 Fuſs übersponnenen Kupferdrahts, zu ungefähr 25 Windungen aufgewickelt, und hielt $1\frac{1}{2}$ Zoll im äuſseren Durchmesser. Die Enden der Drähte waren zusammengedreht, um jede magnetische Wirkung derselben zu vernichten, und sie hatten Länge genug, um eine Volta'sche Batterie zu erreichen, und doch dem Gewinde eine freie Bewegung zu gestatten. Wie viel Magnetkraft in dem Gewinde erforderlich war, mag durch folgende Betrachtungen beurtheilt werden. Man denke sich eine Magnetnadel frei aufgehängt und dann das Gewinde in einiger Entfernung von der Nadel aufgestellt, mit seiner Axe in verlängerter Linie derselben und ihr mit der Seite zugewandt, welche bei geringer Entfernung eine Abstoſsung bewirken würde. Die Nadel wird den magnetischen Meridian mit einer gewissen Kraft behaupten, allein so wie das Gewinde ihr nahe gebracht wird, mit immer geringerer Kraft, und bei einem gewissen Abstand wird sie nicht mehr in dem Meridiane bleiben, sondern nach der einen oder anderen Seite abweichen. Es giebt einen gewissen Abstand, bei welchem die Nadel, so lange sie in dem Meridian ist, sich in einer instabilen Gleichgewichtslage befindet, jenseits aber in einer stabilen; die Gröſse dieses Abstandes ist verschieden nach der Stärke des elektrischen Stromes. Die Kraft des Gewindes muſs eine solche seyn, daſs wenn es gegen die Nadel endet, diese eine stabile Gleichgewichtslage in dem Meridiane besitzt. Ein Plattenpaar ist ganz hinreichend, das Gewinde so magnetisch zu machen als für Abstände von 4 bis 24 Zoll nöthig ist. Ist die Nadel entweder mit einem Magnet oder einem Gewinde im Norden oder Süden gehörig angeordnet, so geht, wenn der Magnet oder das Gewinde nach Westen be-

wegt wird, ihr näheres Ende nach Osten, und so umgekehrt.

2971. Wie bekannt, hat ein solches Gewinde ein System von Magnetlinien, welches durch ihre Axe geht, sich dann nach aufsen biegt, um die Aufsenseite herumgeht und nun durch die Axe wieder eintritt, so dafs die Kreise der Magnetkraft überall winkelrecht sind auf dem die Gänge des Gewindes durchlaufenden elektrischen Strom; und nun hatte ich eine Quelle von Magnetkraftlinien genau von der erforderlichen Art um, in Gemeinschaft mit der der Erde, eine Kraft-Anordnung hervorzubringen, die entweder mit der paramagnetischen oder diamagnetischen Polarisation (2865. 2877) coïncidirte.

2972. Sey Fig. 29 Taf. I. [1]) ein Durchschnitt des Gewindes, parallel seiner Axe, so werden die beiden Kreise die Anordnung der Magnetkraft in diesem Durchschnitt vorstellen; die Pfeile dienen zur Anzeige derjenigen magnetischen Richtung, welche den vom Nordende eines Magnets ausgehenden Kraftlinien angehört. Wenn solch ein System plötzlich inmitten der terrestrischen Linien erregt wird, so wirkt es auf sie, je nach der Richtung des Gewindes in Bezug auf die Richtung der Erdkraft. Wählen wir die beiden Lagen, in welchen die Axe des Gewindes parallel ist der natürlichen Richtung der Kraft, wie sie eine freie Nadel an dem Beobachtungspunkte zeigt, so werden zwei entgegengesetzte Effecte erzeugt, welche, in Bezug auf die äufseren Linien des Gewinde-Systems, der Polarität von paramagnetischen und diamagnetischen Leitern entsprechen. Ist z. B. das Gewinde so gestellt, dafs die Polarität seiner Magnetlinien aufserhalb des Ringes und in der Ebene desselben mit der der Erdkraft übereinstimmt, wie in Fig. 30 Taf. I., so werden die Erdlinien abgelenkt, wie abgebildet, und eine in *a* befindliche Magnetnadel, die ihre Lage durch den Einflufs der Erde angenommen hat, wird bei Annäherung des Gewindes diese Lage nicht ändern, obwohl sie eine stärkere Einwirkung erleidet. Auf

1) Schon dem ersten Hefte beigegeben. *P.*

Digitized by Google

anderen Theilen der Linie *bac* wird sie ihre Lage ändern, da sie sich als Tangente zur Krümmung stellt, und deshalb, wenn sie längs der Linie (oder durch die benachbarten Linien) fortgeführt wird, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite abweicht, statt sich parallel zu bleiben, wie im Fall der Abwesenheit des Gewindes.

2973. Wird andrerseits das Gewinde in die zweite Lage gedreht (2972), so ist der Effect auf die benachbarten Kraftlinien der in Fig. 31 Taf. I. abgebildete. Nadeln, die in *d* und *e* befindlich sind, werden wiederum aus der ihnen von der Erde gegebenen Lage abgelenkt, aber ihre Ablenkung erfolgt, in entsprechenden Lagen, in entgegengesetzter Richtung wie bei der früheren Anordnung. Diese Figur repräsentirt die paramagnetische Anordnung der Kräfte, wie die frühere die diamagnetische.

2974. Ich behaupte nicht, daſs diese Kraft-Anordnungen im Ganzen denen bei paramagnetischen und diamagnetischen Leitern gleich sey. Unabhängige Systeme sind hier mitten in die Kraft der Erde eingeführt, und der centrale Theil jeder Anordnung muſs deshalb ausgenommen werden. Es giebt auch Anziehungen einwärts und Abstoſsungen auswärts, wenn die Nadel sich in *a* und *f* befindet, welches im Fall einer bloſsen magnetischen Leitung nicht der Fall ist. Allein auſserhalb dieser Gewind-Systeme und auf Abstände von 2 Zoll bis 2 oder 3 Fuſs stimmt die den Kraftlinien der Erde eingeprägte Anordnung überein mit der von paramagnetischen und diamagnetischen Leitern erzeugten. Diese veränderten Kraftlinien und die im Groſsen der Natur durch die Sonne und Atmosphäre verzogenen sind in ihrer Natur vergleichbar und können als Repräsentanten von einander betrachtet werden.

2975. Um ein einfaches Resultat von der Wirkung eines solchen Kraftcentrums auf die Magnetlinien der Erde zu erhalten, befestigte ich einen Stab in Richtung der Neigungsnadel, und am Fuſs desselben eine Tafel (*plane*) parallel mit dem magnetischen Aequator in London. Dann hing ich einen kleinen Magnet von 0,5 Zoll Länge an Co-

Digitized by Google

conscide auf, so, daſs er dem magnetischen Aequator parallel war, und sich nahe bei der Tafel am Fuſs des die Neigung vorstellenden Stabes befand. Das Gewinde (2970) wurde dann so mit der Volta'schen Kette verbunden, daſs jeden Augenblick geschlossen, und ersteres, immer parallel mit sich und dem magnetischen Aequator, von allen Seiten, von oben und unten, der Nadel nahe gebracht, und die Wirkung auf dieselbe beobachtet werden konnte. Da die Wirkung der Sonne dargestellt werden sollte, so wurde der Strom in solcher Richtung durch das Gewinde geleitet, daſs die obere Seite desselben das Nordende einer Magnetnadel abgestoſsen haben würde; denn dann würde ein auſserhalb des Ringes und in der Ebene desselben befindlicher Magnet seine Lage nicht geändert haben und die Anordnung der Erdkräfte unter dem Einfluſs des Gewindes war wie in Fig. 30 Taf. I. oder wie bei einem diamagnetischen Leiter.

2976. Bei Anstellung derartiger Versuche und besonders wenn das Gewinde absichtlich in bedeutender Entfernung von der Nadel gehalten wird, ist es besser, dasselbe, statt es beständig mit der Batterie in Verbindung zu halten und dann auswärts oder neben der Nadel fortzuführen, an den Ort zu bringen, für welchen seine Wirkung beobachtet werden soll, und nun die Batterie zu schlieſsen. Die Bewegung und Richtung ist dann leicht zu beobachten, und sollte sie wegen der Entfernung nur schwach seyn, so läſst sie sich dadurch, daſs man die Kette einige Male isochron mit den Schwingungen der Nadel schlieſst und öffnet, in jedem erforderlichen Grade steigern.

2977. Es giebt gewisse Lagen in Bezug auf die Nadel als Centrum, die man klar verstehen muſs. Die Magnetaxe ist eine Linie durch das Centrum der freien regulären Nadel, parallel der Richtung der terrestrischen Kraftlinien wie diese auch an dem Orte der Anstellung des Versuchs beschaffen seyn mag. Die Ebene des magnetischen Aequators ist eine Ebene, die, winkelrecht zur Magnetaxe, durch das Centrum der Nadel geht. Die Ebene des magnetischen

Meridians ist diejenige, welche mit der Magnetaxe und auch mit der Richtung der Nadel coïncidirt. Diese Lage findet sich immer bei den zur Beobachtung angewandten Magneten in Folge ihrer Aufhängungsart; sie würde aber nicht angenommen werden von einer Nadel, deren mechanische Axe, auf der sie winkelrecht wäre, in der Magnetaxe läge.

2978. Als das Gewinde, gelegen wie zuvor erklärt (2975), irgendwo in dem *magnetischen Meridian* befindlich war, übte es keine ablenkende Wirkung auf die Declinationsnadel aus; ebenso verhielt es sich in der Ebene des magnetischen Aequators. Dieſs sind die beiden einzigen Orte, in welchen es die Lage der Nadel nicht verändert.

2979. Diese beiden Ebenen keiner Einwirkung theilen den Raum um den Magnet in vier Quadranten, und, wenn das Gewinde sich in einem derselben befindet, ändert es die Richtung der Nadel. Die Ablenkung der Kraftlinien für zwei benachbarte Quadranten hat entgegengesetzte Richtung, so daſs, wenn das Gewinde aus der neutralen Linie in den einen oder anderen Quadranten übergeht, die Ablenkung der Nadel sich ändert.

2980. Wird das Gewinde oberhalb oder unterhalb des magnetischen Aequators um die Magnetaxe herum, also längs einem Breitenkreise fortgeführt, so macht die Nadel, während dieses Umganges, *eine* groſse Oscillation nach der Rechten und eine andere nach der Linken. Gesetzt, das Gewinde sey zu Anfang des Versuchs oberhalb des Aequators und in der Ebene des magnetischen Meridians nördlich von der Nadel; wenn es dann durch West nach Süd und Ost zu seiner ursprünglichen Lage zurückkehrt, wird das Nordende der Nadel zuerst nach Westen gehen, dann stillstehen und nach Osten zurückkehren, durch seine Mittellage gehen, endlich nach Westen zurückkehren und seine ursprüngliche Richtung einnehmen. So lange das Gewinde im magnetischen Osten der Nadel ist, wird es eine und dieselbe Ablenkung bewirken, und ebenso auch so lange es im Westen ist. Die Ablenkung wird mehr oder weniger groſs seyn, ihre Richtung in Bezug auf den neutralen

Digitized by Google

Ort aber nicht ändern. Ob das Gewinde nördlich oder südlich von der Magnetnadel liegt, hat, zwar auf den Betrag, nicht aber auf die Richtung der Ablenkung Einfluſs, sobald es nur auf dieselbe Seite des magnetischen Meridians bleibt. Ist das Gewinde unter dem magnetischen Aequator, so kehrt sich die Richtung der Declination um, allein dann ändert sie sich nicht, so lange das Gewinde östlich oder westlich von der Nadel und der Ebene ihrer mittleren Declination bleibt.

2981. Führt man das Gewinde in einer auf den Ebenen des magnetischen Aequators und des Meridians winkelrechten Ebene um die Nadel herum, so daſs es successive die vier Quadranten durchwandert, so macht die Nadel während dieses Umgangs *zwei* Schwingungen hin und her (statt einer). Steht dabei das Gewinde anfangs in der neutralen Lage über der Nadel, geht durch Westen nach unten, und an der Ostseite wieder herauf zu seiner ursprünglichen Lage, so wird das Nordende der Nadel erst westwärts gehen, dann ostwärts, nun westwärts, darauf ostwärts und endlich wieder westwärts zu seiner ursprünglichen oder neutralen Lage.

2982. So wie das Gewinde aus den neutralen Ebenen (2978) in einen der Quadranten geführt wird, wächst sein Einfluſs auf die Ablenkung der Nadel und erreicht in der Mitte des Quadranten sein Maximum. Folglich ist die Ablenkung nach Osten oder Westen ein Maximum, wenn das Gewinde sich in der Mitte eines der Quadranten befindet. Wenn also das Gewinde aus der Mitte eines Quadranten in die Mitte des nächsten geführt wird, macht die Nadel nur *eine* Bewegung, z. B. eine verstärkte westliche Abweichung, obwohl die Richtung der Declination in Bezug auf die mittlere Lage während der Zeit umgekehrt worden ist, und es giebt einen Moment, wo die Nadel keine Extra-Declination besitzt, sondern *in* der mittleren Lage ist. So auch wenn das Gewinde von einer neutralen Ebene zur andern durch einen Quadranten geführt wird, ändert zwar die dadurch bewirkte Ablenkung der Nadel ihre Richtung

Digitized by Google

nicht, bleibt z. B. während der ganzen Zeit westlich, allein dennoch hat die Nadel zwei Bewegungen ausgeführt, indem sie erstlich während des Anwuchses der Kraft westlich, und darauf, während der Abnahme derselben östlich geht; und dadurch kommt es, dafs, obwohl die Nadel, während das Gewinde sie in einer östlichen oder westlichen Verticalebene umkreist (2981), *vier* Ausgänge (*departure*) von der neutralen oder mittleren Lage aus und dahin zurück besitzt, es doch nur *zwei* vollständige Wanderungen (*journeys*) für sie giebt.

2983. Die Gröfse der Ablenkung verringert sich, so wie die Entfernung des Gewindes von der Nadel zunimmt, und so umgekehrt.

2984. Zwei andere Nadeln wurden sehr schief gegen die magnetische Axe aufgehängt (*slung*) (2975), mit dem Nordende die eine aufwärts, die andere unterwärts, und nun, wie die frühere, der Wirkung des Gewindes ausgesetzt (2978). Sie wurden genau in derselben Weise afficirt, zeigten keinen Unterschied, d. h. ein gegebenes Ende bewegte sich, bei derselben Aenderung in der Lage des Gewindes, immer in derselben Weise. War das Gewinde nahe, so wurde, in gewissen Lagen, der eine Pol etwas mehr influencirt als der andere; allein eine gröfsere Entfernung desselben nahm diesen (leicht (2970) erklärlichen) Unterschied fort und lieferte reine Resultate. Ob das Gewinde sich über oder unter der Verlängerung der Linie der Nadel befand, machte keinen Unterschied, sobald es nur in Bezug auf den magnetischen Aequator der durch die Nadel gehenden Erdkraftlinien an demselben Orte war.

2985. Um die Natur der Wirkung, welche ein solches Gewinde immer in der gegebenen oder diamagnetischen Lage (2975) auf die *Inclination* ausübt, zu ermitteln, wurde eine kleine Neigungsnadel derselben ausgesetzt, und dabei wurden folgende Resultate erhalten. Die Nadel konnte sich in dem magnetischen Meridian von London bewegen.

2986. Es erfolgte keine Ablenkung, wenn das Gewinde in der Ebene des magnetischen Aequators oder in einer,

Digitized by Google

welche auf der die mechanische Axe enthaltenden Ebene winkelrecht war, sich befand. In jeder anderen Lage wirkte es auf sie, so daſs diese beiden Ebenen die Wirkungssphäre in vier Segmente theilten, wie zuvor.

2987. So wie das Gewinde von einem Quadranten in den anderen übergeht, ändert sich, wie zuvor, die Richtung, in welcher die Nadel abgelenkt wird (2982). Ist das Gewinde in dem oberen Nordsegment oder in dem unteren Südsegment, so wird das obere oder südliche Ende der Nadel gegen Süden abgelenkt. Ist aber das Gewinde in dem oberen Süd-, oder unteren Nordsegment, so wird das obere oder südliche Ende der Nadel nach Norden abgelenkt. Wird das Gewinde um die Nadel herumgeführt, in Richtung der Bewegungsebene, welche in diesem Fall die des magnetischen Meridians ist, so weicht die Nadel von einer mittleren oder unafficirten Lage erst in einer Richtung ab, z. B. nordwärts und dann südwärts, wieder nordwärts und südwärts, und endlich abermals nordwärts um ihren Ruheplatz wieder zu erlangen, so daſs es, wie zuvor bei der Declinationsnadel (2982), in jeder Richtung zwei extreme Ablenkungen des Endes giebt.

2988. Mit anderen Worten: Wenn das Gewinde irgendwo unter dem magnetischen Aequator war, suchte das *untere* oder nördliche Ende der Nadel auswärts oder nach auſsen von demselben zu gehen, wie wenn es von der Axe des Gewindes *abgestoſsen*, aber von den äuſsern gekrümmten Kraftlinien (2992) Fig. 32 Taf. I. angezogen würde. Oder wenn das Gewinde über dem Aequator war, ging das *obere* oder südliche Ende der Nadel auswärts von dem Gewinde, und bewegte sich in Bezug auf dasselbe, genau in derselben Weise wie früher der untere Pol.

2989. Der Träger der Nadel wurde um 90° gedreht, dadurch also die Ebene, in welcher sich die Nadel bewegen konnte, um 90° aus dem magnetischen Meridian. Dieſs drehte auch die Ebene ohne Einwirkung um 90°, so daſs sie nun mit dem magnetischen Meridian zusammenfiel; und die von Ost nach West gehende Ebene, welche sich früher

neutral verhielt, war nun nicht eine Ebene ohne Wirkung, sondern ging durch die Orte der stärksten Wirkung in der Mitte der Segmente.

2990. Hier bei der *Inclination*, wie zuvor bei der *Declination*, ist es nicht die gerade von der Nadel eingenommene Richtung, was die Einwirkung des Gewindes auf dieselbe bestimmt, denn sie mag belastet oder anderswie zurückgehalten werden, gleich allen horizontalen Nadeln, sondern es ist die Richtung der Kraftlinien der Nadel, welche, mit dem Gewinde, alles beherrschen. Es ist gleichgültig, ob das Gewinde oben oder unten in der Verlängerung der Nadel ist; denn wenn es an derselben Seite der Kraftlinie bleibt, unter deren Einfluſs die Nadel wirkt, bewegt sich das Ende dieser in derselben Richtung, obwohl es in dem einen Falle zu dem Gewinde geht und in dem andern von ihr ab.

2991. Ich hing eine Nadel so auf, daſs sie in jeder Richtung frei beweglich war, und nun erhielt ich den einfachen natürlichen Effect des Gewindes oder einer diamagnetischen Kugel (2877) auf eine gegebene Kraftlinie, und es ist gut dieſs im Gedächtniſs zu haben. Denn obwohl wir zum Behufe der practischen Beobachtung genöthigt sind, die Lage in zwei Theile zu theilen, in Declination und Inclination, so lassen sich doch die Resultate für jeden Fall besser vergleichen und einprägen, wenn man das einfache Gesetz der Veränderung in der ganzen Kraftlinie im Kopfe hat. Die Aequatorial-Ebene und die Magnetaxe sind nun die einzigen Orte, in welchen das Gewinde sich befinden kann, ohne auf die Lage der Nadel einzuwirken; die erstere giebt (für das Gewinde) Orte mit einer stabilen Lage für die Nadel, und die letztere liefert stabile oder instabile Lagen, je nach dem Abstande des Gewindes.

2992. Ist das Gewinde auſserhalb der Ebene und Axe, so geht das ihr nächste Ende der Nadel von ihr, wie wenn es abgestoſsen würde. Wird das Gewinde in einem Breitenkreise herumgeführt, so bewegt sich das Ende

Digitized by Google

der Nadel vor ihm herum, gerade wie das obere Ende der Nadeln zu Hobarton und Toronto in Bezug auf die Sonne während der Mittagsstunden. Statt das Gewinde um die Nadel herumzuführen, können wir die Nadel in verschiedene Lagen gegen das Gewinde bringen, und dann wird Fig. 32 Taf. I, das Resultat vorstellen. Ein äuſserst einfaches Resultat, ganz übereinstimmend mit der diamagnetischen Anordnung der von dem Gewinde erzeugten Kräfte (2972), wie die beiden getüpfelten Linien andeuten.

2993. Als Ausdruck der Thatsachen, um diese zur Erläuterung der Naturphänomene anzuwenden, kann man in Bezug auf *Declination* sagen, daſs wenn das Gewinde sich in einer geneigten Ebene über der Nadel, und deshalb über ihrem magnetischen Aequator befindet, es östlich, von einer Nadel mit nördlicher Neigung, das südliche oder obere Ende derselben nach Westen ablenke, und, östlich von einer Nadel mit südlicher Neigung (also von umgekehrter Stellung (2972)), das nördliche oder obere Ende ebenso nach Westen treibe, so daſs es das nächste Ende der freien Nadel oder den nächsten Theil der Kraftlinie abzustoſsen scheint (Fig. 32 Taf. I.). In Bezug auf *Inclination* kann man sagen, daſs das Gewinde, wenn es über der Nadel ist, das obere Ende derselben oder die Kraftlinien von sich treibe. Ist das Gewinde nördlich von der Magnetaxe, so sucht es das obere Ende der Nadel nach Süden, ist es südlich nach Norden abzulenken. Wie bei der Declination ist es gleichsam, wie wenn es das nächste Ende der freien Nadel oder die nächste Kraftlinie abstieſse. In der That kommen alle Fälle darauf hinaus, daſs wenn das Gewinde diamagnetisch (2975) für eine freie Nadel ajustirt ist, es mag sich nun über oder unter, dieſs- oder jenseits derselben befinden, das nächste Ende der Nadel gleichsam abgestoſsen wird, vorausgesetzt, daſs das Gewinde nicht in einer neutralen Lage sey.

2994. Ich wiederholte alle diese Versuche mit dem umgekehrten Gewinde, um so den Effect einer paramagnetischen Luftkugel (2865. 2973) hervorzubringen. Ich

brauche wohl nicht zu sagen, daſs alle Erscheinungen in ihrer Natur und Ordnung dieselben, nur in der Richtung die *umgekehrten* waren. Sie sind erforderlich, um die von der Erkaltung der Atmosphäre herrührenden (3003. 3010) nächtlichen oder frühmorgentlichen Wirkungen zu erklären.

2995. Bei diesen Versuchen wurde, damit die Ablenkungsgesetze in ihrer Einfachheit erscheinen möchten, die Nadel in der Luft aufgehängt, und die Sonnenwirkung rundherum in allen Richtungen dargestellt. Allein in der Natur befindet sich die Luft bloſs über der Nadel und die Erde als ein Magnet unter ihr. Im Fall der Natur ist es auch die Befestigung der Linien in der Erde (2919), welche bewirkt, daſs der Betrag der Ablenkung *an* der Erdoberfläche weit gröſser ist, als er seyn würde, wenn sie sich in der Erde so frei bewegten als darüber im Raum [1]). Diese Ablenkung muſs mit der von dem Gewinde allein bewirkten zusammenfallen, aber es war doch wichtig dieses zu bestätigen. Ich nahm daher einen Magnetstab von 30 Zoll Länge und geringer Stärke, und hing darüber die Nadel an verschiedenen Stellen auf, um so den Effect von nördlicher oder südlicher Neigung in jedem Grade, oder, nahe den mittleren Theilen, gar keine Neigung zu haben. Der Effect der Abwesenheit von Luft unterhalb wurde auch bis zu einem gewissen Grade nachgeahmt, und um dieſs noch auffallender zu machen, brachte ich zuweilen Eisenmassen an und unter die Mitte des Magnets. Die Wirkungen des Gewindes waren nun, was den *Betrag* der Ablenkung betrifft, bedeutend verändert, aber nicht in der Richtung. Wenn das Gewinde auf die Richtung der Nadel einwirkte, so geschah es gemäſs den obigen Gesetzen.

2996. Bei der Betrachtung der Naturphänomene sind

1) Bezogen auf die zum Typus genommene Kugel von kalter Luft (2874) ist klar, daſs wenn der Raum unter den horizontalen Linien *a*, *c*, etc. von einer die Linie festhaltenden Materie eingenommen wäre, dann die nun an den unteren Theilen vorgestellten Ablenkungen über den festhaltenden Flächen erscheinen würden, und in einem viel gröſseren Grade, obgleich sie sich in einen viel kleineren Raum hinab ausdehnen würden.

Digitized by Google

die Magnetaxe und die Ebenen des magnetischen Aequators und des Meridians, als Kreise oder Ebenen ohne Ablenkung, sehr wichtig. Sich ändernd bei jeder Veränderung entweder des Orts, oder der Declination oder Inclination, erfordern sie ein leichtes Mittel der Erläuterung, und ihre Wirkungen können schwerlich ohne ein Modell begriffen werden. Ich habe mir einen Globus gemacht, darauf die Lage der Observatorien angemerkt und die magnetischen Meridiane dieser Orte nach der neusten Bestimmung verzeichnet. Mit anderer Farbe habe ich dann für jeden Ort seinen magnetischen Aequator angegeben und zwar als gröſsten Kreis, parallel der Aequatorialebene der Neigungsnadel dieses Orts. Auch habe ich auf diesem Globus den mittleren Gang der Sonne für jeden Monat und, mittelst Nadeln, die Stunden Vor- und Nachmittags für jeden Ort angezeichnet, so daſs ich mit hinreichender Genauigkeit und besser als durch irgend eine Figur angeben kann, wann die Sonne in irgend einem bestimmten Quadranten oder in welchem Theile desselben ist, wann sie eine neutrale Linie passirt, oder welche Lage sie in Bezug auf den Beobachtungsort besitzt. Ich stellte diesen Globus, den ich sehr nützlich gefunden habe, immer in einer bestimmten Lage gegen mich auf, nämlich die Rotationsaxe horizontal, den Nordpol zu meiner Rechten, und den astronomischen Meridian des Orts gegen das Zenit. Der Beobachter kann ihn dann als vom Orte des Aufgangs der Sonne her betrachten.

2997. Obgleich wir so die experimentellen Bedingungen haben, unter welchen sich die Nadel unter einer Wirkung gleich der aus dem Daseyn der Sonne entspringenden (2990) befindet, so behaupte ich doch nicht, daſs sie ohne Modification auf die Naturphänomene angewandt werden können, sondern nur, daſs sie beim Studium der letzteren und deren Ursache eine sehr wichtige Hülfe gewähren. Die Atmosphäre ist nicht unbegränzt, sondern hüllt die Erde gleich einem Gewande ein; ihre Wirkung muſs, so wie sie sich vom Orte ihrer Entstehung ausdehnt, in Bezug

Digitized by Google

auf denjenigen Theil, welchen sie durch ihre Masse leitet, (2920) krümmen mit ihrer Krümmung, und an jedem besonderen Orte ein Resultat geben, welches sich nur durch ſeine, auf sorgfältige Beobachtungen gestützte Berechnungen bestimmen läſst. In Bezug auf die Entwicklung der Luftwirkung würde es, glaube ich, sehr interessant seyn zu ermitteln, wenn auch nur roh, wie sich die täglichen Variationen des Erdmagnetismus am Boden eines tiefen Schachtes, in der Mitte und an der Mündung desselben verhalten. Die Resultate würden uns über die Haltkraft (*holding power*) der Erde und die Tiefe, bis zu welcher die Ablenkungen der Magnetkraftlinien eindringen, sehr viel lehren, so wie auch von den Veränderungen (oder Nicht-Veränderungen) der inneren Kraft, befreit von denen von der Atmosphäre herrührenden, eine rohe Vorstellung geben.

2998. Ein anderer Grund, weshalb das experimentelle Resultat nicht zu strenge angewandt werden darf, ist folgender. Wären die Kraftlinien der Erde vollkommen regelmäſsig, so würden die in ihnen von der Sonne und der Luft hervorgebrachten Aenderungen ebenfalls regelmäſsig seyn. Allein das natürliche System ist nicht regelmäſsig, weder unter den Tropen, wie zu Sister's Walk und Longford in St. Helena, noch in höheren Breiten, wie an der Hudson's Bay, und daraus können und müssen Widersprüche entstehen. Wahrscheinlich ist es, daſs die gröſsten Unregelmäſsigkeiten in der Anordnung des Erdmagnetismus in und bei der der Erdoberfläche vorkommen, und nach oben Alles regelmäſsiger wird. Indeſs müssen doch die Unregelmäſsigkeiten ihren Einfluſs sehr weit nach oben erstrecken, so daſs die Verdrehungen der magnetischen Meridiane oder Kraftlinien an der Region, welche mit dem Ort des atmosphärischen Effects coïncidirt, wahrscheinlich nicht getilgt oder sehr verringert sind.

2999. Allein wiewohl die Linien in dem groſsen, von der Sonne afficirten Raum unregelmäſsig sind, so wird doch eine Ausdehnung des Ganzen, als eines Systemes

Digitized by Google

und eine diamagnetische Polarität erfolgen. Die unteren Kraftlinien werden von den oberen afficirt werden, und so wird die Art der Veränderung an der Erdoberfläche wahrscheinlich nicht so unsicher seyn als es anfangs scheint, obwohl eine vollkommene Aehnlichkeit zwischen verschiedenen Orten nicht zu erwarten ist. Deshalb glaube ich wird man den Globus (2996) sehr nützlich finden, indem er Auskunft giebt über die wahrscheinlichen Effecte in dem Meridian und Aequator, wie sie durch den Ort der Sonne in den beiden Hauptquadranten für jeden Monat des Jahrs oder jede Stunde des Tages hervorgerufen werden.

3000. Der Durchgang durch den magnetischen Meridian ist wichtig und scheint es mehr nach dem (2978) beschriebenen Versuch zu seyn, als er es früher (2942) that. Da er oft gegen den astronomischen Meridian geneigt ist, so muſs er groſsen Einfluſs haben auf die Zeit, wann die tägliche Declination ihre Richtung ändert. Der Ort der gröſsten Wirkung und sein Wandern nördlich oder südlich längs einer magnetischen Kraftlinie, je nachdem die Declination in Bezug auf das Gewinde als Sonne, westlich oder östlich war, wurde durch einen Versuch bestätigt; und ebenso auch die spätere Beobachtung (eine Folge der früheren), daſs bei gleichem Abstand der Sonne von einem mehr nördlichen oder südlichen Ort als sie selbst, die Wirkung derselben an der Seite ihrer Bahn weit stärker ist und die Declinatin eines spitzen Winkels macht. Wenn demnach das, von Ost nach West bewegte Gewinde, durch den Meridian eines nördlich von ihm liegenden Orts mit westlicher Declination geführt wurde, war die Wirkung, bei gleichen Abständen des Gewindes vom Magnet, stärker an der westlichen Seite des Orts als an der östlichen.

3001. Der Durchgang der Sonne durch den magnetischen Aequator ist ebenfalls wichtig, weil dann die Richtung der täglichen Variation der Experimentir-Nadel geändert wird; und dieſs ist von desto gröſserer Folge, weil durch die Gröſse der natürlichen Declination an vielen,

Digitized by Google

selbst sehr nördlichen oder südlichen, Orten dieser Durchgang, entweder an der östlichen oder westlichen Seite, auf den astronomischen Meridian hin gerichtet ist und während der einfluſsreicheren Stunden der Sonne oder der Kälte stattfindet. An all den Orten überdieſs, wo die Neigung klein ist, wie zu St. Helena, und in oder nahebei der Sonnenbahn, kann er einen wesentlichen Einfluſs auf den Betrag der Wirkung ausüben. Wegen der Aenderung des Sonnenortes zwischen den Tropen, und wegen der groſsen Verschiedenheit der Inclination und Declination an verschiedenen Orten, muſs das Durchschneiden der neutralen Ebenen von der Sonne und der wirkenden Region unter einer auſserordentlichen Mannigfaltigkeit von Bedingungen stattfinden, deren Aufklärung, glaube ich, durch Kenntnisse, wie die, welche die vorhergehenden Versuche und Principien liefern, sehr unterstützt wird. Die Sonne kann astronomisch nördlich oder südlich von der Nadel seyn, und doch ändert sich die Declination der letztern nicht (2980), oder wo eine starke Declination ist, wie zu Greenwich, kann sie astronomisch östlich oder westlich von ihr seyn, und dennoch bringt sie keine Aenderung in der Declination hervor. Die Sonne kann südlich von einem Orte seyn, und dennoch treibt sie das obere Ende weiter nach Süden (2990); denn alles hängt ab von ihrer Lage gegen den magnetischen Meridian und die Magnetaxe, welche im Allgemeinen sehr weit von der astronomischen entfernt sind, zu welcher Mannigfaltigkeit von Ursachen noch kommt, daſs die Kraftlinien in der Erde fest sind (2919), was diesen eine fernere Verschiedenheit giebt.

3002. In einem früheren Aufsatz betrachtete ich bloſs den Effect der Luft, die über ihre mittlere Temperatur erwärmt worden (2895), und erläuterte dieſs durch den der Sonne in der Mitte des Tages; jetzt will ich den Effect der nächtlichen Kälte betrachten, welche die Luft einer Gegend unter ihre mittlere Temperatur herabbringt. Durch die Abkühlung erhöht sich das Leitungsvermögen der Luft, und im Verein mit der wärmeren Luft der Umgebung lenkt

sie

Digitized by Google

sie die durch beide gehenden Magnetkraftlinien ab, wie es von der Typus-Kugel (2864. 2874) angezeigt wird; sie erlangt das, was ich Leitungs- oder paramagnetische Polarität genannt habe, damit bloſs meinend, daſs die Kraftlinien in der Mitte der kalten Luft zusammengezogen sind.

3003. Da der Effect der kalten Luftregion aus Osten kommt, würde er theoretisch darin bestehen, daſs er die Magnetkraftlinien, so wie sie die Erde verlassen, vorrückte oder gegen sich böge, weil die in der kalten Luft und um dieselbe einwärts gebeugt sind; und so wie die im unmittelbaren Westen der kalten Region sich einwärts oder gegen sie bewegen, so werden die weiter westlichen, da sie zum Theil in ihrer Spannung nachlassen, sich auch ostwärts bewegen, und so wird ein Effect entstehen, umgekehrt wie der von der Sonne (2877. 2972), oder gleich mit dem des Gewindes in der paramagnetischen Lage (2973. 2994). Die oberen Enden der Nadeln an Orten mit Inclination zeigen diese Ablenkung des oberen Theils der Kraftlinien, weil sie von, mit und in ihnen bewegt werden.

3004. So wie die Kälte sich nähert, neigen die Linien gegen sie, bis sie in die Lage der Maximum-Wirkung im östlichen Quadranten angelangt ist; dann kehren sie zurück (in Declination) der Kälte voraus, bis beide, die Kälte und die Linie (oder Nadel) im magnetischen Meridian sind; worauf, so wie die Kälte nach Westen wandert, die Nadel ihr folgt, bis die Kälte den Ort ihrer Maximum-Wirkung im westlichen Quadranten erreicht hat (2982); endlich, wenn die Kälte umkehrt, geht auch die Nadel wieder nach Osten in ihre mittlere Lage, angenommen übrigens, daſs zur Zeit keine andere Wirkung als die der kalten Region vorhanden sey. Das obere Ende der freien Nadel strebt also an jedem Orte zur kalten Region hin, wie zuvor von einer wärmeren Region abwärts, und wie die Declination ergriffen wird, so verhält es sich auch mit der Inclination. Ist die Kälte im magnetischen Meridian eines Orts innerhalb der Tropen, wie St. Helena und Singapore, so vergröſsert sie die Neigung daselbst, während sie zu

Digitized by Google

derselben Zeit an südlichen oder nördlichen Orten, wo die Neigung beträchtlich ist, dieselbe verringert; ein Resultat, welches aus der Beugung der Kraftlinien in oder gegen die kalte Region direct hervorgeht.

3005. Die hauptsächlichsten Regionen von Wärme und Kälte auf einem selben Breitenkreise folgen einander nicht in gleichen Zeiträumen. Es ist schwierig sich über ihre Zwischenzeit in der oberen Atmosphäre ein Urtheil zu bilden; allein an der Erde, wie von Vielen angenommen wird, folgt das tägliche Kältemaximum 17 Stunden auf den vorhergehenden Mittag. Darnach kommt der vereinte Effect der kalten und warmen Region hauptsächlich Vormittags und um Mittag in Betracht. Wenn eine kalte Region nur viertehalb Stunden westlich von einem Orte ist, von dem gleichzeitig die warme Region viertehalb Stunden im Osten liegt, so ist klar, daſs der vereinte Effect beider, da beide in gleichem Sinn ablenkend wirken, weit gröſser ist, als wenn Kälte oder Wärme allein wirkt, oder als zu jeder andern Zeit, denn weder 12 Stunden hernach, noch zu sonst einer Zeit, sind die Umstände ähnlich. So verhält es sich auch mit anderen Combinationen von heiſsen und kalten Regionen, deren Effect sowohl nach Lage als nach Ausdehnung verschieden ist. Eine freie Nadel wird in Spannung gehalten durch die Linien, welche selbst wiederum durch die heiſsen und kalten Regionen der Atmosphäre beherrscht werden; sie nimmt wahrscheinlich nie die mittlere Lage ein, sondern liegt immer in der Resultante dieser stets gegenwärtigen und stets wachsenden Veränderungsursachen.

3006. Da die Erde unter der Sonne rotirt, so würde, allgemein gesprochen, jeder Ort innerhalb 24 Stunden ein Maximum und ein Minimum in der Temperatur seiner Atmosphäre haben. Allein auf die Erdkugel als Ganzes gesehen, würde es ein Minimum und zwei Maxima geben, d. h. eine Maximum-Region etwas unter der Sonne in ihrer Bahn und ein Minimum in jeder der Polarregionen, welches in Rücksicht auf die 24 Stunden nicht am Pole läge, sondern an einem Orte unter hoher Breite, und vielleicht, wie vorhin, sieben bis acht Stunden vor Mittag. Diese kalten

Digitized by Google

Regionen werden wiederum durch die Stellung der Sonne zwischen den Tropen sehr bedeutend in ihrer Ausdehnung, Lage und Kraft afficirt; denn so wie die Sonne gegen einen Wendekreis vorrückt, wird die kalte Region in Ausdehnung und Kraft abnehmen, während die andere darin wächst; und während sie (die Regionen) somit in ihrem Einfluſs auf die allgemeine Richtung der Kraftlinien schwanken, werden sie, (diese Linien) sich in ihrer Lage auch verändern und zu verschiedenen Zeiten verschiedene Relationen zum Orte der Sonne in verschiedenen Monaten haben, und so mannigfaltige Effecte hervorbringen. Es sind diese Verschiedenheiten, welche sich uns, wie ich glaube, in den nächtlichen und morgentlichen Wirkungen an den zahlreichen, auf der Erde zerstreuten, Observatorien kund geben.

3007. Ich will nun versuchen, diese Ansichten und die durch den Versuch nachträglich gewonnenen Kenntnisse anzuwenden auf die früher betrachteten und einige neue zwischen den Tropen belegene Orte, um, wenn ich es kann, zu erklären: die nächtliche Wirkung, die gröſsere oder geringere Verzögerung der Effecte in Bezug auf die örtliche Zeit, den Unterschied in Richtung der Declinationsveränderung in verschiedenen Monaten, an demselben Ort zur selben Stunde, wie er vom Obersten Sabine nachgewiesen ist, die Abnahme der Neigung an einem Ort und die Zunahme derselben an anderen zu derselben örtlichen Zeit. Dabei wird es nöthig seyn, beständig denjenigen Ort zu berücksichtigen, welcher in Bezug auf die Station als das jeweilige Centrum der kalten oder heiſsen Wirkung betrachtet werden kann. Ich werde zu dem Ende das Wort Region gebrauchen, damit aber nicht die ganze Strecke der heiſsen oder kalten Luft verstehen, auch nicht das Centrum, sondern den Hauptort der veränderten Portion. Es ist sehr klar, daſs an gewissen Tagen des Märzes oder Septembers, *alle* um 21^h oder 22^h östlich vom Meridian gelegene Luft als warm betrachtet werden kann in Bezug auf die dann im Westen desselben Meridianes befindliche,

und daſs eine für alle Orte gleiche Resultante der Wirkung nicht existiren kann.

3008. Wir haben uns zu erinnern, daſs das Oestern und Western (*the eastening and the westening*) des obern Nadelendes, von dem ich immer spreche, auf zweierlei Weise hervorgebracht wird. Die Nadel wandert wie positiv durch die Fortnahme einer directen Wirkungsursache, wie sie es, nur in entgegengesetzter Richtung (2982) unter der unmittelbaren directen Wirkung dieser Ursache thut. Ein Western kann erfolgen entweder dadurch, daſs die Sonne im Osten des Beobachtungsortes aufgeht, oder im Westen fortgeht, nachdem sie durch den Meridian gegangen ist und die gröſste östliche Schwingung erzeugt hat.

3009. *St. Petersburg* hat eine mittlere Declination von 6° 10′ W. und eine Inclination von 70° 30′ N.; obgleich also der magnetische Meridian nicht sehr schief gegen den astronomischen ist, erreicht doch die Sonne oder die Wärmeregion den ersteren 20′ bis 40′ früher als den letzteren, und deshalb tritt die Zeit der groſsen Sonnenschwingung, welche von 20^h bis 1^h geht, früher ein als sie sonst eingetreten seyn würde. Der magnetische Aequator der Nadel (2977) macht einen Winkel von etwa 40° mit dem Erdaequator, und bei solcher Neigung (*being thus tilted*), disponirt er die beiden, bei der täglichen Variation (2979) hauptsächlich wirksamen Quadranten so, daſs zu Petersburg im Sommer die wärmste Region nicht nur der Nadel weit näher ist, sondern auch durch die stärksten Orte geht, wogegen sie im Winter weiter davon und auch in schwächeren Orten liegt. Dieſs ist, glaube ich, eine Ursache des groſsen Unterschiedes im Betrage und im Charakter der Declinationsveränderung. Im November, December und Januar geht sie nur von 4′,47 bis 4′,65, während sie im Juni 11′,52 beträgt [1]). Siehe die Curven Taf. V.

1) Das Oestern und Western (*eastening and westening*) einer freien Neigungsnadel wird durch die Bewegungen einer horizontalen Nadel nicht gehörig dargestellt, in sofern als an Orten mit verschiedener Inclination der Winkel in Ebenen, die gegen die Inclination ungleich geneigt sind,

Digitized by Google

3010. Im December und Januar, also im Winter, verschwindet zu St. Petersburg die östliche Sonnenschwingung fast gänzlich. Nach 1^h, wo sie vorbei ist [1]), folgt das obere Nadelende der Sonne bis 9^h, nachdem sie um 5^h durch die mittlere Lage gegangen ist. Dann steht sie still, bewegt sich darauf östlich bis 16^h oder 17^h, steht wieder still, ganz oder beinahe, bis 21^h, und macht nun die Sonnenschwingung, die sie zum östlichen Extreme führt. So sind hier also zwei wichtige Punkte zu erklären: warum die Nadel sich nach 9^h ostwärts bewegt, und warum sie von 13^h bis 20^h nicht westwärts wandert, sondern im Gegentheil nach Osten geht oder stillsteht. Die Erklärung ist, meiner Ansicht nach, folgende: — Petersburg ist ein Ort, wo, wegen seiner Lage, die obere Kälte, welche täglich auf den Untergang der Sonne folgt, eine paramagnetische Action erzeugen würde (2994. 3003). Diese Action beginnt, so wie die Sonne untergeht, im Osten zu erscheinen, und ich schliefse, dafs die kalte Region, welche um 9 bis 11^h nicht unter der Breite der Sonnenbahn, die zu südlich ist, sondern mehr unter der von Petersburg selber von Osten kommt, um 9 bis 11^h, während die Nadel stillsteht, im Stande ist, jede rückständige Tendenz nach Westen aufzuheben, darauf die Kraftlinie, wie das Nadelende, bis 17^h ostwärts zu ziehen, und dort festzuhalten, bis die Sonne beide in der grofsen Schwingung nach Osten sendet. Dafs die Kälte, in Erwägung ihrer wahrscheinlichen Lage, wohl vermag das Nadelende bis 17^h ostwärts zu richten, und die Sonnenregion dasselbe von 17^h bis 20 oder 21^h nicht westwärts sendet, ist, glaube ich, eine sehr natürliche Folge der wahrscheinlichen Lage beider Regionen zwischen diesen

abgelesen wird; unter hohen Breiten wird der Effect dadurch sehr übertrieben. Wiewohl indefs verschiedene Orte nicht ohne Correction mit einander verglichen werden können, so sind doch an einem selben Orte, wie Petersburg, die Variationen vergleichbar und proportional.

1) Die Petersburger Beobachtungen sind 21,5 Minuten nach jedem Stundschlag angestellt; allein ich führe als hinreichend für das Angenommene nur die Stunden ohne die Minuten an.

Stunden. Denn stelle die Sonne, deren Ort wir kennen, die warme Region um 17^h vor; sie ist dann im östlichen Quadrant unter dem Horizont, so daſs sie, wenn sie durch und herum die Erde auf die Nadel wirken könnte (2995), dieselbe nach Osten führen, und damit bis 19^h in diesem Quadranten fortfahren würde. Um 19^h, wenn sie eintritt, in den Quadranten, in welchen sie anfängt eine westliche Action auf die Nadel (*on the sun*) auszuüben, hat sie gegen die Nadel zu Petersburg eine solche Lage (wie aus einer auf dem Globus (2996) gezogenen Linie, im Vergleich mit dem magnetischen Meridian und der Neigung zu ersehen) und ist in einem so unwirksamen Theil der Quadranten (2982) und auch so weit weg, daſs sie keine Macht besitzt, die Nadel westwärts zu senden, sondern nur in Verbindung mit der zurückkehrenden kalten Region dort festzuhalten vermag, bis um 21^h die Sonnenschwingung von Westen nach Osten eintritt wie in anderen Fällen. Hierauf folgt die Nadel der Sonne von 1^h an, allmälig langsamer gehend, so wie die Zeit vorrückt, und dann, wie schon beschrieben, in den nächsten 20 Stunden von der kalten Region aufgenommen.

3011. Ich habe angenommen, die Kälte fahre östlich ablenkend fort bis 17^h (*the cold eastening as continued*), was vermuthlich einschlieſsen würde, daſs die kalte Region bis zu dieser Stunde östlich von Petersburg sey. Es ist sehr schwer, über Orte und Zeiten von Dingen zu sprechen, die bisjetzt so wenig specificirt (*identified*) sind als die warmen und kalten Regionen in der oberen Atmosphäre; allein was die Temperaturen an der Erde zu Petersburg betrifft, so kann ich sagen, daſs die äuſserste Kälte, im Januar, um 19^h oder 20^h eintritt, *fünf* Stunden später als im Sommer. Ich muſs hier auch bemerken, zum Nutzen in den Sommermonaten, daſs das *Wärme-Maximum* drei Stunden lang in *entgegengesetzter Richtung* variirt, so daſs, während im Sommer nur elf Stunden von der höchsten zur niedrigsten Temperatur des Tags verstreichen, im Winter 19 darauf gehen. An einem Tage im Januar ist also die höchste

Digitized by Google

Temperatur nur fünf Stunden hinter der niedrigsten, was im Allgemeinen mit der vorausgesetzten Ursache der Wirkungen auf die Nadel übereinstimmt [1]).

3012. Da ich mich bemühte, aus Petersburg einen allgemeinen Fall der nächtlichen Wirkung zur Erklärung entsprechender Erscheinungen an anderen Orten zu machen, so mufs ich bemerken, dafs die Nachtwirkung einen Theil der Sonnenwirkung einschliefst, die sich mit der der Kälte combinirt. Die Sonnenwirkung ist durch Beobachtung als sehr ausgedehnt bekannt. In Petersburg ist die Sonne, wenn sie auf dem südlichen Wendekreis und im Meridian steht, 80° bis 90° vom Zenith entfernt, und doch sehen wir aus den Beobachtungen und Curven, welch grofsen Einflufs sie ausübt (3009). Wo auch die Sonne seyn möge, so bringt sie doch durch ihre Bewegung Veränderungen hervor, die gleichzeitig auf der ganzen Erde verspürt werden. Um 9 und 10^h ist sie im wirksamen Theil desjenigen Quadranten, welcher die Nadel ostwärts führen würde, wenn die Erde durch Luft ersetzt wäre, und in dem repräsentativen Versuch (2995) sendet das Gewinde sie ostwärts, wenn ein Magnet eingeschaltet ist. Die nächtliche Wirkung mufs daher im Winter am gröfsten seyn, wie sie es ist, weil die Kälte am intensivsten, und weil auch die Wirkung der fernen Sonne damit zusammenfällt. Es ist sehr wahrscheinlich, dafs viele der wunderlichen Verzerrungen der Nachtwirkungen, wie sie in den Curven von Hobarton, Toronto und anderswo erscheinen, von der Weise abhängen, in welcher sich, zu verschiedenen Stunden, die beiden Ursachen (wahrscheinlich mit andern) combiniren.

3013. Obwohl die Declination zwischen 17^h und 21^h

1) Anlangend die Kälte der obern Atmosphäre und das Eintreten ihrer Maximums (wenigstens in gewissen Niveaus) nicht um Mitternacht, sondern Stunden lang hernach: wie oft erblicken wir nicht in unserm Lande nach einer heitern Nacht kurz vor Sonnenaufgang einen Wolkenschleier hoch oben entstehen, der so wie die Sonne erscheint, zerrinnt und fortgeht! In solchen Fällen zeigen die Wolken durch ihre Bildung die Zeit der gröfsten Kälte oben, und durch ihre Auflösung den schnellen Uebergang derselben in Wärme an.

Digitized by Google

wenig oder gar nicht variirt, kein Western auftritt (3010), so würde ich doch um diese Zeit in der Inclination eine hervortretende Wirkung erwarten, und vermuthen, daſs sie zunehme; ich war nicht im Stande eine Tafel über die tägliche Variation der Inclination zu erhalten.

3014. Für den Februar gelten dieselben Bemerkungen; allein da die Sonne nun aus den südlichen Zeichen kommt und Petersburg näher rückt, so wächst ihre Macht und dieſs zeigt sich dadurch, daſs das Oestern durch Kälte (*cold eastening*) um 15^h, 16^h und 17^h um mehr als eine halbe Bogenminute geringer ist als zuvor, und daſs es zwischen 17 und 18^h überwältigt wird und ein Rückgang nach Westen erfolgt, ehe die Schwingung nach Osten eintritt. Im März ist der Effect noch auffallender; das paramagnetische Oestern hält ein um 14^h, und das darauffolgende diamagnetische Western erstreckt sich bis 20^h; dann folgt die Schwingung. Im April beginnt das Western durch die warme Region schon um 13^h und dauert bis 20^h, ist dabei sehr stark. Ein Blick auf die Tafel der monatlichen Temperaturen, selbst so wie sie an der Erdoberfläche erhalten werden, ist interessant. So wie die Monate vorrücken, hört das Oestern durch Kälte immer früher auf, im Januar und April respective um 17^h und 13^h. Das Temperatur-Minimum weicht auch zurück, in denselben Monaten von 20^h auf 16^h. Das Temperatur-Maximum dagegen *rückt vor* von den Winter- zu den Sommermonaten, und wird auch gröſser. Der Effect auf die Sonnenschwingung zeigt sich sowohl in der *vorgerückten* Zeit der Veränderung als in dem *vergröſserten* Betrage der Variation.

3015. Im Mai oder Juni ist das Nacht- oder Kälte-Oestern verschwunden oder zeigt sich nur durch ein geringes Stocken (*hesitation*); und von Mitternacht an führt die Herankunft der Sonnenregion das Nadelende westlich. Blicken wir auf den Globus (2996), so haben wir dieſs zu erwarten. Die Sonne ist dann auf dem nördlichen Wendekreis, läuft um Petersburg herum und zwar ihm verhältniſsmäſsig nahe; eine freie Neigungsnadel würde in 24 Stunden

einen Umlauf in gleicher Richtung wie die Sonnen-Region machen, allein am entgegengesetzten Ende der Linie, welche beide verbände. Wäre die Nadel am astronomischen Pol der Erde und hätte starke Neigung, so würde sie fast einen Kreis mit beinahe gleichförmiger Bewegung beschreiben; da sie aber in Wahrheit in einem Theil des gleichförmigen Tageslaufs der warmen Region dieser viel näher ist als in einem andern, so macht der Radius, welcher sie mit der Region verbindet, einen gröſsern Winkel in einer gegebenen Zeit als wenn sie weiter fort ist, und daraus entspringt die gröſsere Schnelligkeit der Bewegung zwischen 20^h und 1^h und die Sonnen-Schwingung, wie ich sie (*familiarly*) genannt habe, von Westen nach Osten.

3016. Aus den Curven, Taf. V., ist ersichtlich, daſs wir an Petersburg ein schönes Beispiel jener Art von Resultat haben, welches Oberst Sabine in seinem Aufsatz über die Erscheinungen zu St. Helena [1]) so sehr hervorhebt, und auch zu Hobarton, Toronto und anderswo vorkommt, nämlich eine Declinations-Variation in *verschiedenen* Richtungen zu verschiedenen Stunden in verschiedenen Monaten. So geht im vorliegenden Fall die Nadel ostwärts von 13^h bis 20^h im October, November, December, Januar und Februar, während sie zu denselben Stunden westwärts geht im April, Mai, Juni, Juli und August. Die März- und September-Curven halten die Mitte. Allein diese Verschiedenheit ist nun hoffentlich durch die Hypothese erklärt (3010. 3015); und ich glaube, daſs ebenso befriedigende Gründe für St. Helena (3045) und andere Orte (3022. 3039. 3065) gefunden werden.

3017. Der paramagnetische Charakter der östlichen Abweichung durch die Kälte im Winter nach 10 Uhr, würde wahrscheinlich durch Inclinationsbeobachtungen, zu derselben Zeit angestellt, erläutert werden. Denn, wenn die kalte Region zum Süden Pertersburg's geht, wird die Inclination durch die paramagnetische Action abnehmen, aber durch die diamagnetische Resultante wachsen; die Art,

1) *Philosoph. Transact.* 1847. *p.* 51.

Digitized by Google

wie die beiden Richtungs-Elemente d. h. Inclination und Declination, zu irgend einem gegebenen Moment combinirt sind, ist sehr wichtig für die volle Aufklärung des magnetischen Effects der Atmosphäre. Ich bin nicht im Stande gewesen, diese Data für Petersburg zu geben. Auch die Veränderungen der totalen Kraft würden hier zur Aufhellung dieses Gegenstandes beitragen. In der That ist es nicht gerathen, die Resultate der bezeichneten Ursache durch Inbetrachtnahme von bloſs einem Elemente unter dreien erklären zu wollen. Was wir zuletzt kennen müssen, ist die Gesammtheit aller Veränderungen der freien Nadel. Alle sind wichtig und alle müssen zugleich betrachtet werden. Sonst kann die Theorie der Variationen nicht weit gedeihen.

3018. *Greenwich* liefert uns einen schönen Fall von nächtlicher Episode und den verschiedenen Richtungen der magnetischen Variation zu gleichen Stunden in verschiedenen Monaten. In dieser Beziehung gleicht es Petersburg sehr, hat aber auſserdem noch ein groſses Interesse wegen der starken westlichen Declination [1]), wegen des dadurch auf die Orte der wirksamen Quadranten (2979. 3000) hervorgebrachten Effects und wegen der Zeiten der Variationsphänomene. Setzt man es auf dem Globus (2996) an seine Stelle, so sieht man, daſs die Aequatorial-Ebene wahrscheinlich nicht viel mit der Mittags-Action zu thun hat, und daſs die Sonnen- oder Wärme-Region im Sommer fast mitten durch die beiden Hauptquadranten geht, was, mit ihrer Nähe zu der derselben Zeit, die Mittagsschwingung nach Osten sehr groſs machen muſs. Im Winter ist sie in viel schwächeren Theilen des Quadranten gelegen, so daſs die Schwingung weit geringer seyn muſs, und so ist's wirklich. Die gröſste Variation im Sommer beträgt 11',30 und die kleinste im Winter nur 5',88. Im April, Mai, Juni, Juli und August erfolgt die gröſste westliche Declination des südlichen oder oberen Endes der Nadel um $19^h,20'$, und die gröſste östliche um $1^h,20'$. Die letztere Lage bleibt

1) Mittlere Declination 22°.51' W. mittlere Inclination 69° N.

sich das ganze Jahr hindurch gleich, allein das westliche Extrem fällt in den übrigen sieben (kalten) Monaten auf $9^h,20'$ und $11^h,20'$ [1]) oder strebt gegen Mitternacht, dann übertrifft es die westliche Abweichung am Morgen. So ist also der Einfluſs der Sonne im Sommer auf die Schwächung des Effects der nächtlichen Kälte (3005) sehr einleuchtend, ebenso wie die Art, wie in den Wintermonaten die Nachtwirkung durch die zunehmende Kälte wächst, bis sie sehr überwiegt (3006), wenn die Sonne am südlichen Wendekreis oder in den schwächeren Theilen der Segmente ist. Die vorausgesetzten Principien dieser Wirkung sind schon bei Petersburg (3010 etc.) gegeben.

3019. Der magnetische Meridian ist sehr östlich vom astronomischen, da wo die Wärme-Region ihn durchschneidet, besonders im Winter, denn dann geht die Sonne um etwa 10^h und im Sommer um 11^h durch ihn. Es muſs also die Schwingung im Winter früher erfolgen als im Sommer, obwohl sie, wegen der langsamen Bewegung der Wärme-Region in Bezug auf Greenwich (3015), dann eine längere Zeit einnimmt, und doch, wie schon gesagt, (3018), vermöge des Abstandes, von kleinerem Betrage ist. Alles dieſs steht in merkwürdigem Einklange mit der Thatsache. Die Schwingung beginnt im Winter um 17^h, im Sommer aber nicht vor 19^h, und endet in beiden Jahreszeiten zu derselben Stunde, nämlich um 1 Uhr, ist also im Winter von längerer Dauer als im Sommer. Sie beginnt eher, weil der magnetische Meridian früher durchschnitten wird, und es erhellt auch, weshalb der Anfang der Schwingung mehr verschoben wird als das Ende; denn wegen der Declination, ist die Wärme-Region zu denselben Stunden im Winter des Morgens viel weniger östlich vom magnetischen Meridian und des Nachmittags viel weiter westlich von demselben, als im Sommer. Also ist die Schwingung im Winter in Zeit vorgeschoben, und obwohl

1) Siehe die Curven Taf. V. Die Beobachtungen sind nur zu jeder zweiten Stunde gemacht und daher ist in Angabe der Zeit einer Veränderung keine Genauigkeit zu erwarten.

Digitized by Google

verlängert, fällt ihr Ende doch zusammen mit dem Ende im Sommer, so weit dieſs wenigstens aus 2stündlichen Beobachtungen zu ersehen ist.

3020. Da der Sonne die Region vorausgeht, so muſs der Grad der mittleren Declination, um die Tagesschwingung zu machen, hier früh eintreten, d. h. früher als zu Hobarton, und besonders früher als zu Toronto, wenn nicht andere Veränderungsursachen stören. Nun ist der Anfang früher als zu Toronto, allein das Ende dasselbe. Allein Anfang und Ende erfolgen eine Stunde früher als zu Hobarton. Der letztere Unterschied rührt, glaube ich, vom Unterschiede der mittleren Declination her. Zu Toronto, glaube ich, werden wir eine andere, die Zeit influencirende Ursache finden (3032).

3021. Wir haben uns zu erinnern, daſs auch im Winter die Sonne oder Wärme-Region den magnetischen Meridian zwei Stunden eher durchschneidet als den astronomischen, und deshalb hört ihre Wirkung, dem südlichen oder obern Ende der Nadel eine westliche Lage zu geben, viel früher auf als im Sommer, vielleicht selbst ehe sie näher herankommt; und ebenso muſs auch die östliche Nachwirkung gröſser seyn, was sie auch ist. Diese Wirkung ostwärts muſs auch verstärkt werden, weil die Wirkung der warmen Region auf die Nadel nach dem Durchgang durch den magnetischen Meridian verhältniſsmäſsig groſs seyn muſs; denn ihre Bahn bildet mit dem Meridian vor dem Durchgang einen stumpfen Winkel, und nach demselben einen scharfen (3000) und daher ist sie wirksamer. Zu all diesen Wirkungsursachen kommt noch der Effect wegen der Zeit der Kälte in dem fernen Westen (3005).

3022. Der Richtungs-Unterschied vor 19^h (3016) ist zu Greenwich sehr hervortretend, wie man aus den Monatscurven Taf. V. ersieht. Das südliche oder obere Ende geht in den Monaten Mai, Juni, Juli und August westlich von 12^h bis 19^h d. h. von Mitternacht bis fünf Uhr vor Mittag; allein im October, November und December geht es zu denselben Stunden östlich. Betrachten wir zunächst

einen Sommermonat, z. B. Juni: Das obere Nadelende ist bei Herankunft der Sonne westlich (wie es seyn muſs) bis 19^h, wenn diese fast in der Mitte ihrer Bahn durch den östlichen Quadranten ist; und was den Abstand und die angulare Relation zum magnetischen Meridian betrifft, so ist dann die warme Region wahrscheinlich an dem Orte, wo sie die gröſste Ablenkung des Nadelendes nach Westen zu bewirken vermag [1]). In den nächsten sechs Stunden geht die Nadel zum äuſsersten Osten, macht, den Beobachtungen zufolge, ein Viertel der ganzen Schwingung in den ersten zwei Stunden, eine Hälfte in den nächsten zwei und ein Viertel in den übrigen zwei, ohne Zweifel also den Gang erst mit rasch steigender und dann rasch abnehmender Schnelligkeit. Bei diesem Durchgang der Region ist die Sonne während etwa zwei Drittel der Zeit im östlichen Quadranten, und während eines Drittels im westlichen; und ihre Bahn in dem letzteren bildet mit Greenwich fast die Basis eines gleichschenklichen Dreiecks, welches den magnetischen Meridian zu einer Seite hat, so daſs sie während der ganzen Zeit nahe ist und deshalb eine starke Wirkung auf die Nadel ausübt (3000). Um 1^h ist die Sonne, bezüglich dieses Winkels, in solcher Lage, daſs wenn wir annehmen, die Region gehe ihr etwas voraus, die letztere an dem Orte seyn würde, wo sie die gröſste Wirkung nach Osten ausüben könnte, und deshalb würde hernach so wie sie westwärts zurückgeht, die Nadel umkehren von Ost nach West, wie wirklich, und ihr folgen. Die Nadel fährt fort westwärts zu gehen und durchschneidet ihren *mittleren* Ort für den Monat um 7^h; mittlerweile, ehe dieſs geschieht, ein wenig nach 6^h, hat die Sonne das westliche Segment verlassen und den magnetischen Meridian durchschnitten; sie ist zu Greenwich noch nicht untergegangen

1) Es darf nicht vergessen werden, daſs die Rückkehr von einem östlichen oder westlichen Extrem erfolgt, nicht wenn die Sonne oder Wärme-Region durch eine neutrale Linie oder von einem Quadraten in den anderen geht, sondern dann, wenn sie den Punkt ihrer gröſsten Wirkung in einem Quadranten durchschneidet.

Digitized by Google

und, wenn sie eine Wirkung hat, wird sie, wegen des Segments, worin sie nun ist (2979), das Nadelende westwärts führen. In der That fährt die Nadel fort westwärts zu gehen, nach 10 Uhr zwar langsamer, dann von 10^h bis 20^h etwas schneller, darauf, so wie die Sonne aufgeht, noch schneller, wie sie es muſs, bis 19^h, und endlich macht sie ihre groſse Schwingung nach Osten wie zuvor. Die ganze Progression ist hier sehr einfach und anscheinend ein natürliches Resultat der angenommenen Ursache. Ohne Zweifel stellen sich auch Kältewirkungen ein; allein die kalte Region hat an Intensität und Ausdehnung verloren (3006), sich nach Norden zurückgezogen, und ihre Wirkung scheint, in Combination mit der vorhergehenden, bloſs in Abänderungen der Geschwindigkeiten des Wechsels zu bestehen.

3023. Für den Winter wollen wir den Januar betrachten, und da in allen Monaten das Oestern um 1^h, nach dem Durchgang der Sonne durch den Meridian, ein Maximum ist, wollen wir hier den Cyclus beginnen. Um 1^h ist das obere Nadelende im östlichen Extrem, und der Betrag der Variation nicht halb so groſs wie im Sommer, weil die Sonne weit absteht. Die Sonne und die Wärme-Region durchschneiden den magnetischen Meridian um etwa 21^h oder 22^h, und müssen daher, in den Stunden vor- und nachher, den vollen Effect von West nach Ost ausüben. Um 1 Uhr kehrt die Nadel nach Westen um, der zurückkehrenden Sonne folgend, und zwar schneller von 7^h bis 8^h oder 9^h, während welcher Zeit die warme Region und auch die Region der frühen Morgenkälte in Quadranten und Lagen sind, welche, wenn sie überhaupt eine Wirkung haben, wie die in den Versuchen (2975. 2995), das Nadelende westlich von seiner mittleren Stellung halten würden. Dann tritt eine Wirkung folgender Art ein: Die Nadel bleibt stillstehen bis 11^h, dann geht sie um Mitternacht, und bis 15^h östlich, steht zwei Stunden lang wieder still, ganz oder beinahe, wendet sich nun abermals gen Osten, anfangs langsam, später rascher, bis 1^h, wo sie ihr östliches Extrem und den Ort ihres Ausgangs erreicht hat.

Digitized by Google

3024. Diese nächtliche Wirkung ist ein anderer Fall der Wirkung einer kalten Region wie die bei Petersburg betrachtete (3010). Es scheint mir, daſs um 11^h die unmittelbare Sonnenwirkung und die ihr folgende Rückkehr nach Westen vorüber sind, daſs die kalte Region, welche von Osten gekommen war, durch ihren Paramagnetismus wirkt (combinirt mit dem complementaren Effect der Sonnenwirkung an der anderen Seite der Erdkugel) und die Nadel ostwärts ablenkt, wie sie bis 14^h oder 15^h zu thun vermag (2994. 3010). Bei diesem Oestern erreicht die Nadel nicht den mittleren Ort, sondern steht 1' westlich von ihr still; und der Grund, warum sie dort von 15^h bis 17^h bleibt und dann, immer mehr unter der Sonnenwirkung, wieder nach Osten zu gehen beginnt, ist wahrscheinlich der, daſs, sowie die Sonne in dem südlichen Wendekreis steigt, ihre Entfernung und Lage die resultirende ferne warme Region allmälig in Wirkung bringt mit der der näheren kalten; daſs sie erst die Wirkung der letztern hemmt, und dann, so wie sie vorrückt, sich mit ihr combinirt und sie endlich ersetzt, wodurch sie die gewöhnliche, erst langsame und dann rasche Schwingung von West nach Ost um 1^h veranlaſst. Wie dieses geschieht, sieht man, in Bezug auf den Ort der Sonne sowohl in der südlichen Halbkugel, als in den zwei magnetischen Segmenten, durch einen Blick auf den Globus (2996) und auf die Curven Taf. V.

3025. Betrachten wir noch einen anderen und intermediären Monat z. B. den März. Um 1^h ist das obere der Nadelenden in seinem östlichen Extrem; dann, bis 9^h folgt es der Sonne wie zuvor (3023); von 9^h bis 11^h steht es still; dann tritt die paramagnetische Wirkung der Kälte von Osten ein und es bewegt sich nun ostwärts bis 13^h. Darauf steht es still, zwei Stunden früher als zuvor, denn nun erscheint die Sonne früh um 6^h und in einer günstigeren Lage für den Effect, in Bezug sowohl auf den magnetischen Meridian als auf das Segment, worin sie zu der Zeit ihren Ort hat, und so wird die Nadel wirklich

Digitized by Google

ein Paar Stunden nach Westen abgelenkt, dann wird sie bis 19^h festgehalten, worauf die groſse Sonnenschwingung erfolgt. Das Festhalten in Westen zwischen 15^h und 19^h ohne daſs ein weiterer Gang nach Westen erfolgt, ist nicht unverträglich mit dem südlichen Ort der warmen Region, und wahrscheinlich nimmt um diese Zeit die *Neigung* zu, ein Effect, der mit dem gleichzeitigen Zustand der Dinge harmonisch übereinstimmen würde.

3026. Andere Momente liegen hinsichtlich ihrer Wirkungen dieſs- und jenseits des Märzes; der entsprechende Monat in der entgegengesetzten Jahreshälfte (der September) ist dem März gleich, ausgenommen in demjenigen Theile des Effects, welcher daraus entspringt, daſs der Monat, welcher einem andern folgt, entweder wärmer oder kälter als er selber ist (3053). Greenwich erläutert also genügend die Anwendung der Hypothese auf den Fall eines Richtungsunterschiedes zur selben Stunde, in verschiedenen Monaten (3016, 3022), so wie auch des Vorkommens der Nachtwirkung und ihres Uebergangs in das sehr hervorstehende Oestern am frühen Morgen.

3027. *Hobarton* und *Toronto*, obwohl in entgegengesetzten Hemisphären gelegen, sind in ihren Erscheinungen so ähnlich, daſs sie zusammen betrachtet werden können. Ein sehr wichtiger Vergleich der Variationen in Declination, Inclination und totaler Kraft an beiden Orten ist schon vom Oberst Sabine gemacht [1]). Bei Untersuchung durch den Globus (2996) ergiebt sich, daſs die Vertheilung der Quadranten fast gleich ist, indem die Sonne von 18^h bis 6^h oder während des Tages in dem östlichen und westlichen Hauptquadranten steht. Im Sommer steht die Sonne in einfluſsreicheren Theilen der Quadranten als im Winter, wovon der Effect aus der Verschiedenheit des Betrages der Declinationsvariation zu ersehen ist. Zu Hobarton be-

1) *Hobarton Observations* 1850 *Vol. I. p. LXVIII.* auch *Phil. Transact.* 1847 *p.* 55 und 1850 *pp.* 201 und 215. Siehe auch die Curven Taf. V.

Digitized by Google

beträgt sie im Sommer 12',05 und im Winter nur 3',6: zu Toronto im Sommer 14', im Winter 5',2. Die Nachtwirkung in den beiden Orten ist von gleichem Charakter und ist in den vorhergehenden Fällen (3010. 3024) befriedigend nach der Hypothese erklärt worden.

3028. Oberst Sabine hat die Data geliefert, durch welche die Variationen der Inclination und der totalen Kraft mit der Hypothese verglichen und auf sie angewandt werden können. Ich stehe indessen an, in dieser allgemeinen Ansicht auf sie einzugehen, in sofern als diese und die Declinations-Variationen zusammen betrachtet und für jede Stunde an jedem Ort mit einander verglichen werden müssen. Die Inclinations-Variation ist zu Hobarton im Sommer am gröſsten, nämlich 2',18, und im Winter am kleinsten, oder 1',28, wie zu erwarten stand. Die gröſste Variation findet am Tage statt, wie bei Declination. Am gröſsten ist die Inclination, wenn die Sonnenregion durch den Meridian geht; ihr Maximum erreicht sie nicht zu derselben Stunde in allen Monaten, um 23^h im December, Februar und März, um 24^h im September und um 1^h im Juni und Juli; so wie es sich bewegt, bewegen sich auch die Minima der Neigung zu beiden Seiten des Maximums, so daſs die ganze Curve nach Ordnung dieser Monate in Zeit vorrückt. Sie werden auch noch in anderer Weise afficirt, denn in einigen Monaten, wie December und Februar, geschieht der *schnellste* Uebergang von der *gröſsten* zur kleinsten Neigung, in anderen Monaten, wie Juni, Juli und September, aber von der *kleinsten* zur *gröſsten*. Zu Toronto hat die Variation der Neigung, obwohl in einigen Punkten eigenthümlich, im Allgemeinen denselben Charakter.

3029. Hinsichtlich der Variation der totalen Kraft an beiden Orten will ich für jetzt nur auf des Obersten Sabine's Werke verweisen.

3030. In der Zeit der täglichen Veränderungen findet, wie schon Oberst Sabine hervorgehoben hat, ein merkwürdiger Unterschied zwischen Hobarton und Toronto statt.

Digitized by Google

Er besteht darin, daſs diese Veränderungen am letzteren Ort eine Stunde früher eintreten als am ersteren. Hinge dieſs von der Declination ab, so müſste die Veränderung zu Hobarton zuerst erfolgen, denn dort tritt die Sonne eher in den magnetischen Meridian als in den astronomischen, und am Nachmittage hat sie, zu gleichen Stunden der örtlichen Zeit, eine bessere Lage in dem Quadranten als zu Toronto; und doch erfolgt sie am ersteren Ort zuletzt.

3031. Betrachtet man die *Zeit* der Sonnenschwingung von West nach Ost, so müſste die Mitte derselben einigermaſsen dem Moment nahe liegen, da die warme Region den magnetischen Meridian durchschneidet (2982), und in solcher Weise liefert sie einen angenäherten Ausdruck für die relative Lage der Region und der Sonne. Zu *Hobarton* erfolgt die Schwingung von 21^h bis 2^h oder während fünf Stunden, und die Sonne durchschneidet den magnetischen Meridian nahe in der Mitte der Zeit oder um $23^h\,20'$. Allein wegen der oben gemachten Voraussetzung ist dieſs auch die Zeit, zu welcher die warme Region ihn ebenfalls durchschneiden muſs; die Sonne und die Region scheinen also an diesem Orte gleichzeitig den Meridian zu erreichen. Zu *Toronto* dauert die Sonnenschwingung im Winter vier Stunden oder von 21^h bis 1^h, und im Sommer fünf Stunden oder von 20^h bis 1^h. Von den letzteren fünf Stunden ist das Mittel $22\frac{1}{2}^h$, zu welcher Zeit die Region den magnetischen Meridian durchscheiden müſste, und da dieser nahe mit dem astronomischen Meridian coïncidirt, so scheint es, daſs die Region etwa anderthalb Stunden der Sonne *voraus* ist. Nach einem ähnlichen Vergleich würde die Region im Winter etwa eine Stunde der Sonne voraus seyn [1]).

3032. Ich bin geneigt, viel von dieser Präcession der

1) Was den Umstand betrifft, daſs die Resultante der Wirkungen, welche das Nadelende nach Westen ablenken, der Sonne voraus liegt, so müssen wir uns erinnern, daſs die vorhergehende Kälte, die vielleicht nur sieben Stunden im Westen ist, durch ihre Wirkung auf das allgemeine Curvensystem das Western der Nadel unterstützt, während die Sonne im Osten und selbst im Meridian ist (3005).

warmen Region zu Toronto von der geographischen Vertheilung des Landes und Wassers daselbst abzuleiten. Das atlantische Meer liegt im Osten, der Continent von Amerika im Westen jenes Orts, und, wie Dove's Karten und Resultate andeuten, steigt die Temperatur über dem Lande höher und rascher als über dem Wasser, wodurch die warme Region in Bezug auf die Zeit oder die Sonne vorgerückt wird. Bei Hobarton verhält es sich anders; in der That ist daselbst das Land zwischen dem Ort und der vorrückenden Sonne, und es strebt demnach die warme Luftregion zurückzuhalten und so deren Zeit mit der Zeit der Sonne in Coïncidenz zu bringen. Selbst daſs zu Toronto der Unterschied im Sommer gröſser als im Winter ist, scheint mir in gleicher Weise erklärlich zu seyn, wenn man in beiden Jahreszeiten die relative Lage der Sonne zu der Gestaltung des Landes und Wassers erwägt.

3033. Obwohl die Temperatur an der Erdoberfläche eine sehr unsichere Anzeige von der in der Höhe ist (2937) so stimmt sie doch, so weit die Beobachtungen reichen, mit dieser Ansicht. Das Maximum der Temperatur nach Mittag tritt zu Hobarton früher ein als zu Toronto; am ersteren Ort fällt es sehr regelmäſsig auf 2^h, das Minimum auf 16 bis 19^h, im Sommer früher als im Winter. Zu Toronto liegen die Maxima zwischen 2 und 4^h, und die Minima zwischen 16 und 18^h. Die Maxima treten im Sommer später ein als im Winter; die Minima, wie zu Hobarton, später im Winter als im Sommer. Die mittlere Temperatur ist zu Toronto 44°,48 niedriger als zu Hobarton, wo sie 53°,48 ist; auch die Temperaturschwankung ist gröſser, zu Toronto 43° und zu Hobarton nur 18°.

3034. Es ist wahrscheinlich, daſs die Effecte der Verzögerung und Beschleunigung beim Vorübergang des localen Theils der warmen Region für einen gegebenen Ort, an vielen Theilen der Erde vorkommen, und dieſs muſs für jede Oertlichkeit und für die verschiedenen Jahreszeiten daselbst ermittelt werden. Ein Ort von entgegengesetzter Lage wie Toronto würde einen umgekehrten oder verzö-

Digitized by Google

gerten Effect haben, und so könnte es geschehen, daſs Nadeln unter derselben Breite zwar zu sehr verschiedener örtlicher Zeit, aber dennoch alle innerhalb je 24 Stunden sehr regelmäſsig afficirt würden. Die Region würde in dieser Zeit ihren täglichen Umlauf machen, aber an verschiedenen Theilen ihrer Bahn mit verschiedener Geschwindigkeit, und zwar in verschiedener Stärke und Ordnung unter verschiedenen Breiten und an verschiedenen Theilen eines und desselben Breitenkreises. Selbst die Zeit, während welcher der Effect (wie z. B. die Sonnenschwingung) andauert, würde wahrscheinlich geändert werden; ein Ort würde den Einfluſs länger behalten, ein anderer ihn früher verlieren, analog zweien Zuständen von stabilem und instabilem Gleichgewicht.

3035. *Cap der guten Hoffnung* [1]). — Diese Station liegt unter 18°,33′ östl. Länge und 33°,56′ südl. Breite. Die mittlere Declination ist 29° West und die Inclination 53° 15′ Süd. Der Betrag der Neigung, combinirt mit der Lage des Orts, giebt einen magnetischen Aequator, welcher nahe durch die astronomischen Pole geht, und so schneidet ihn die Sonnenbahn in jedem Theil des Jahres fast unter rechten Winkeln und zu derselben Stunde, nämlich um 20′ nach 7^h morgens und abends, oder um 19^h 20′ und 7^h 20′. Wegen der groſsen Declination erreicht aber die Sonne den astronomischen Meridian im Winter zwei Stunden, und im Sommer eine halbe Stunde oder darüber früher als den magnetischen.

3036. Die Sonne geht schief durch beide Hauptquadranten und ziemlich gleichmäſsig quer durch deren centralen Theile; allein wegen der Westlichkeit der mittleren Declination ist sie zu allen Monaten am Cap im östlichen Quadranten näher als im westlichen, und so muſs der entstehende Effect, d. h. das Western vor Beginn der Mittagsschwingung, kräftiger seyn als das Oestern nach derselben, und so verhält's sich auch. Dieſs steht in schönem und auffallendem Constrast mit Greenwich, welches, bei

1) Siehe die Curven auf Taf. V.

Digitized by Google

gleicher Art und fast gleicher Gröſse der mittleren Declination, nördlich von der Sonnenbahn liegt, so daſs die Sonne den magnetischen Meridian vor 12^h durchschneidet und sich dann noch einige Zeit nähert. Das Resultat ist das umgekehrte von dem beim Cap; denn die östliche Ablenkung am Ende der Mittagsschwingung ist kräftiger als die westliche vor Anfang derselben, wie aus den Curven Taf. V. wohl zu ersehen.

3037. Wählen wir den Juli, als den Monat, in welchem am Cap der Winter-Effect eintritt, so finden wir, daſs die Tagesschwingung sehr schwach ist, wie sie es seyn muſs, da die Sonne im nördlichen Wendekreis und sehr entfernt steht. Die östliche Schwingung ist um 3^h zu Ende, nachdem die Sonne den magnetischen Meridian schon etwa eine Stunde durchschnitten hat. Das obere oder nördliche Ende der Nadel geht nun zwei Stunden lang nach Westen, bis 5^h der Sonne folgend, wenn diese schon niedrig steht und ihrem Untergang nahe ist. Darauf geht die Nadel nach Osten, langsam bis 10^h, dann etwas schneller bis Mitternacht (dabei um 11^h die mittlere Lage durchschneidend), noch schneller um 16^h oder 17^h, und abermals schneller bis 19^h, wo sie ihr östliches Maximum erreicht hat. Dieser Effect glaube ich, rührt her von der aus Osten heran kommenden Kälte, die durch ihre paramagnetische Wirkung (3003) das Nadelende ostwärts führt. An der Erdoberfläche tritt in diesem Monat das Maximum der Kälte um 17^h oder 18^h ein, und dieſs Resultat, so weit es reicht, stimmt mit dem eben beschriebenen Effect. Um 19^h hemmt nicht nur die aufgehende Sonne dieſs Oestern, sondern treibt die Nadel rasch nach Westen zurück bis 23^h, zu welcher Zeit die Sonnenschwingung von Westen nach Osten anfängt, bis 2 oder 3^h dauert, und die tägliche Variation vervollständigt, worauf die Nadel westlich geht, und wie zuvor der Sonne folgt. In dieser Sonnenschwingung sieht man den Effect eines geneigten magnetischen Meridians (3000); denn obwohl die Sonne zu Anfang nur eine Stunde östlich vom astronomischen Meridian ist, be-

findet sie sich drei Stunden lang östlich vom magnetischen. Da die Schwingung ungefähr vier Stunden einnimmt, ist die warme Region wahrscheinlich um $12\frac{1}{2}$ oder 1^h dem magnetischen Meridian nahe.

3038. Der *Januar* stellt am Cap den Sommer vor. Die Tagesschwingung geht dann von 21^h bis 1 oder 2^h. Nach 2^h folgt das obere Nadelende der Sonne gen Westen bis 6^h, dann bewegt es sich zwei Stunden lang ostwärts, und nun geht es wieder langsam nach Westen. Der ganze Effect ist so, wie wenn die kalte Region von Osten gekommen und vorüber nach Westen gegangen wäre; die Temperatur unten ist zu dieser Zeit innerhalb 2° des Minimums. Dieses nächtliche Hinziehen der Nadel nach Westen (3004) schreitet langsam bis 15 oder 16^h vor, unterstützt durch die im Osten steigende Temperatur, die das Ende noch rascher westwärts treibt bis 20^h, da es in dieser Richtung sein Maximum erreicht hat. Um 21^h kehrt es zurück, getrieben in der Sonnenschwingung zum östlichen Extrem, durch einen Bogen, der mehr als doppelt so groſs ist wie der im Juli oder Winter des Caps.

3039. Ich glaube, das Obige ist eine richtige Erklärung der umgekehrten Bewegung der Nadel in den Monaten Januar oder Juli oder dem Sommer und Winter des Caps. Im Winter herrscht der paramagnetische Effect der kalten Luft zwischen 12 und 19^h, länger an der Ostseite des magnetischen Meridians verweilend; so wie er vorschreitet, vereint er sich mit dem der Sonnen-Region, um bis 19^h die Nadel westwärts zu führen; beide wirken zwar entgegengesetzt, befinden sich aber auch an entgegengesetzten Seiten des magnetischen Meridians (3005). Im Sommer hat die kalte Region viel weniger Macht, tritt früher ein [1]) und geht schneller vorüber, denn die Sommersonne ist hinter ihr, und sie unterstützt dann vielmehr die Sonne in der Fortführung der Nadel nach Westen.

3040. Einige andere Monate sind noch auffallender im Sommer-Effect. Im Februar macht die Nadel zwischen

1) Das Minimum der Temperatur unten erfolgt drei Stunden früher.

Digitized by Google

21^h bis 1^h eine 8′ betragende Schwingung von West nach Ost; zwischen 1^h und 3^h verändert sie sich kaum, von 3^h bis 6^h folgt sie der Sonne nach Westen, von 6^h bis 10^h verändert sie sich wenig, nur eine Spur nach Osten um 8^h zeigend, und nach 16^h geht sie westwärts, immer rascher, so daſs sie um 21^h auf dem westlichen Maximum ist, bereit zurück zu schwingen, so wie die Sonnen-Region vorübergeht. Die übrigen und intermediären Monate sind leicht zu verfolgen; sie stimmen vortrefflich mit den Principien der Hypothese. Wie einleuchtet, nimmt jeder Monat bis zu einem gewissen Grade Theil an dem Charakter des vorhergehenden Monats, wiewohl beim Cap nicht so sehr als bei einigen anderen Orten (3053). Die Curven des Decembers und Januars sind gleicher.

3041. Die Zeit der Sonnenschwingung erläutert den Effect des geneigten magnetischen Meridians (3000) auſserordentlich gut. Im November, December und Januar geht die Schwingung von 20^h bis 1^h oder 2^h. In diesen Monaten schneidet die Sonne den astronomischen Meridian ungefähr eine halbe Stunde früher als den magnetischen. Im October, Februar und März erfolgt die Schwingung später, von 21^h bis 2^h oder 3^h, denn dann geht die Sonne, eine Stunde oder mehr, später durch den magnetischen Meridian als durch den astronomischen. Im September, April und Mai erfolgt die Schwingung noch später, von 22^h bis 2 oder 3^h, und dann dauert es noch länger bis die Sonne den magnetischen Meridian erreicht. Im Juni, Juli und August geschieht die Schwingung am spätesten, von 23^h bis 3^h, und die Sonne erreicht in dem Verhältniſs spät den magnetischen Meridian. Was ich vom Durchgang der Sonne gesagt, gilt natürlich auch von der ihr vorausgehenden warmen Region; allein ich ziehe es vor, lieber von der sichtbaren Ursache (*visible type*) zu sprechen als von der unsichtbaren (*invisible reality*), weil es die Betrachtungen der Zeit einfacher verknüpft.

3042. Die Inclination verändert sich am Cap innerhalb 24 Stunden sonderbar, wie ich glaube, in Abhängigkeit

Digitized by Google

von ihrem mittleren Werth. Die Variation ist eine solche, daſs die Resultante der Wärme- und Kältewirkung zuweilen über, und zuweilen unter der Inclinationslinie liegt, nicht allein in verschiedenen Jahreszeiten, sondern auch, in einigen derselben zu verschiedenen Tageszeiten. Es würde viel Aufmerksamkeit erfordern, den ganzen Proceſs aufzuklären. Im Juni, Juli und August, wo die Sonne und ihre warme Region sehr nördlich vom Cap sind, scheint die Inclination vergröſsert zu werden, so wie die Region vorübergeht; und dieſs würde dem oberen Ende der Nadel eine Drehung geben wie die zu Hobarton (2909). Allein im November, December, Januar, Februar, März und April nimmt zu jener Zeit die Neigung ab, und die daraus erfolgende Drehung ist entgegengesetzter Art oder wie die zu St. Helena (3057) und Singapore (3061. 3067).

3013. Die täglichen Variationen der Intensität am Cap sind merkwürdig. In den Monaten October und April erreicht sie um 19^h oder 20^h ein Hauptmaximum; am Mittag, so wie die Sonne vorübergeht, sinkt sie auf ein Minimum; allmälig steigt sie auf ein zweites Maximum um 4^h oder 5^h und dann gelangt sie, nachdem sie um 8^h oder 9^h etwas gesunken ist, um 18^h oder 19^h des nächsten Morgens zu einem zweiten Hauptmaximum. In den Monaten vom Mai bis September tritt das Hauptmaximum um 21^h oder 22^h ein, und ihm folgt ein Minimum um 1^h oder 2^h, herrührend von dem Tages-Effect. Dann kommt um 5^h ein Maximum und nach 13 Stunden oder darüber ein zweites Minimum, fast so gering als das erste, und nur drei Stunden vor dem Hauptmaximum, so daſs dieses auf beiden Seiten eng von Minimis eingeschlossen ist.

3014. Dieſs sind genau die Monate, während welcher das obere Nadelende sich frühmorgens ostwärts bewegt bis 19^h, genau bis zur Stunde des Eintritts der Minimum-Intensität. Von 18^h oder 19^h bis 21^h steigt die Intensität auf ein Maximum, genau wie die Kraftlinien sich vor der Sonnenregion westwärts bewegen, ehe sie rasch nach Osten zurückkehren; und so wie sie diesen Gang rasch zurücklegen, so

Digitized by Google

fällt auch die Intensität wieder auf ein Minimum, das um 1^h oder 2^h statthat, just wie die Schwingung vorüber ist. Hier ist also ein inniger Zusammenhang, und es ist interessant, das Nadelende mit einem Minimum der Kraft um 18^h und auch um 1^h in Osten zu sehen, was daran erinnert, daſs es innerhalb dieser Zeit von Ost nach West und wieder zurück nach Ost geschwungen ist.

3045. *St. Helena* [1]). — Diese Station ist vom Oberst Sabine als höchst interessant bezeichnet, da sie der Linie schwächster Kraft nahe und innerhalb der Wendekreise liegt, auch eine geringe Inclination besitzt [2]). Ebenso macht er auf die auffallende Thatsache aufmerksam, daſs die Nadel, zu denselben Stunden des Tages, in einigen Monaten nach einer Richtung wandert, und in anderen nach entgegengesetzter [3]). De la Rive hat versucht, diese Thatsache zu erklären [4]), aber Sabine hat gezeigt, daſs diese Erklärung ungenügend ist [5]).

3046. St. Helena, eine kleine Insel im südlichen atlantischen Ocean, ist etwa 1200 engl. Meilen vom nächsten Lande entfernt. Die Länge ist 5° 40′ W, die Breite 15° 56′ S; die mittlere Declination 23° 30′ W und die mittlere Inclination 22° S. Daher betheiligen sich drei Quadranten an der Tageswirkung der Sonne, besonders wenn diese südlich vom Aequator steht. Südlich von St. Helena selbst ist die Sonne in den Monaten November, December, Januar und Februar oder beinahe, nördlich im übrigen Theil des Jahrs. Zu einer Zeit durchschneidet die Sonne den astronomischen Meridian eher als den magnetischen; zu einer anderen Zeit ist es umgekehrt. Zu diesen eigenthümlichen Umständen kommt noch, daſs St. Helena ein Ort von groſsen localen Differenzen ist, und daſs seine Incli-

1) Siehe die Curven auf Taf. V.

2) *Magnetical Observations*, *St. Helena*, 1840—43.

3) *Philosoph. Transact.* 1847 *p.* 51. (Ann. Bd. 78, S. 494.)

4) *Ann. de Chim. et de Phys.* 1849 *Mars*, *T. XXV. p.* 310.

5) *Proceedings of the Roy. Society*, 1849 *Mai* 10, *p.* 821.

Digitized by Google

nation so gering ist, daſs der Tages-Effect der Sonne sie beständig deprimirt und verringert.

3017. Im Juni und Juli geht zu St. Helena die Sonne im südöstlichen Quadranten auf; etwa eine Stunde später geht sie in den nordöstlichen Quadranten und durchschneidet ihn am südlichen Ende, wobei sie auf halbem Wege in dem Quadranten etwa ein Drittel der Länge oder nahe 60° vom südlichen Ende ist. Sie verläſst diesen Quadranten um 1^h 20′, durchschneidet um diese Zeit den magnetischen Meridian (folglich *nach* dem Durchgang durch den astronomischen) und tritt in den dritten oder nordöstlichen Quadranten, welchen sie gegen das nördliche Ende schief durchwandert. In unserem Winter, December und Januar, geht die Sonne auch im südöstlichen Quadranten auf, wie zuvor; allein sie bleibt nun bis 22^h darin und ist also eine lange Zeit an Orten starker Wirkung; in den nordöstlichen Quadranten tritt sie südlich von St. Helena und bleibt nicht zwei Stunden darin und zwar in den schwächsten Theilen desselben; sie verläſst ihn wieder *vor* der Ankunft im magnetischen Meridian, tritt dann in den nordwestlichen Quadranten, durchwandert ihn nahe am südlichen Ende innerhalb zwei Drittel einer Stunde, und verläſst ihn, wenn die Sonne für St. Helena untergeht.

3018. Da im Juni die Umstände denen einer südlicheren Station, wie Hobarton und das Cap, am nächsten kommen, so will ich die Variationen in diesem Monat zunächst betrachten. Das nördliche oder obere Ende der Nadel ist dann um Mitternacht oder 12^h seinem mittleren Orte nahe; es rückt gen Osten vor, anfangs langsam bis 16^h und dann immer schneller bis 19^h, wo es stillsteht und rasch nach Westen geht bis etwa 22^h; darauf ändert es sich wenig bis 3^h, bewegt sich nun westlich bis 5^h, alsdann langsam östlich bis 12^h, und endlich vorwärts bis 16^h oder 19^h, wie schon gesagt. Das Oestern von Mitternacht ab, beziehe ich wie zuvor auf die paramagnetische Wirkung der von Osten herkommenden Kälte (3003. 3025. 3037); der rasche Anwuchs dieses Oesterns von 16^h bis 19^h

stimmt überein mit der zunehmenden Kälte am frühen Morgen und auch mit dem Umstande, daſs die Sonne und ihre repräsentative Region dann aus dem südöstlichen Quadranten in den nordöstlichen übergeht und nicht weit von der neutralen Linie seyn muſs, denn dieſs ist die Zeit des schnellsten Ganges der Nadel. Sowie die Sonne im nordöstlichen Quadranten vorrückt, hemmt sie zunächst das Oestern, wie um 19^h, und verwandelt es dann in ein Western (3014), welches übereinstimmend mit allen früheren Beobachtungen bis 22^h anhält; dann wird die Nadel ein wenig westlich von ihrer mittleren Lage gehalten bis 1^h, zu welcher Zeit sie noch nicht den magnetischen Meridian erreicht hat, nach dieser Stunde wird sie bis 3^h ein wenig ostwärts geführt. Diesen Effect, von 22^h bis 3^h betrachte ich als die Sonnenschwingung gen Osten; und ich glaube, indem ich den Globus (2996) untersuche, der kleine Betrag der Declination ist ganz übereinstimmend mit der relativen Lage von St. Helena und der warmen Region, combinirt mit den Lagen der activen und neutralen Theile der während dieser Zeit durchwanderten Quadranten. Von 3 bis 5^h bewegt sich das Nadelende westwärts, der Sonne folgend, und dieser Effect harmonirt mit der Idee, daſs das vorherige Verweilen der Nadel von 22^h bis 3^h in einer östlichen Lage der Effect der Sonne ist; dann ist das langsame Oestern von 5^h bis Mitternacht und darüber der Effect der herankommenden Kälte.

3049. Oberst Sabine hat gezeigt, daſs die Monate Mai, Juni, Juli und August zusammengefaſst werden können, und so will ich nicht einzeln von ihnen sprechen. Während sie die Analogien zeigen, die sie zu einander haben, deuten sie auch die Uebergänge aus anderen Monaten und in dieselben an. Betrachten wir den September. Von 7^h ab, durch Mitternacht bis 16^h, steht die Nadel fast auf dem Mittel. Von 16 bis 18^h geht das obere oder nördliche Ende der Nadel vermöge der frühen Morgenkälte nach Osten. Daſs dieſs Oestern eine volle Stunde früher als zuvor (3048) eintritt, stimmt ganz mit den Principien

überein, denn die Sonnenbahn und ihre diamagnetische Region ist der Station weit näher als zuvor, indem sie nun am Aequator ist. Von 18 bis 22^h sendet sie das Ende westwärts, übereinstimmend mit allen früheren Beobachtungen, und nun, zwischen 22^h bis 24^h erfolgt die Sonnenschwingung von West nach Ost, welche die Nadel noch eine Stunde länger im östlichen Extrem hält. Die Kürze der Zeit dieses Vorübergangs ist, glaube ich, ein schöner Punkt. Die Sonne ist noch nördlich von St. Helena, allein sie ist nun um so viel näher, daſs sie *denselben* Winkel von Ost nach West, in Bezug auf den Beobachtungsort, in weniger als der halben Zeit wie früher im Juni (3041) zurücklegt. Hierauf geht das Nadelende von 1 bis 6^h westlich, der Sonne folgend wie in anderen Fällen, und dann bewegt es sich von 6^h bis 9^h, vermöge der Abendkälte im Osten, ein wenig ostwärts, und bleibt der mittleren Lage nahe bis die gröſste Kälte vor Sonnenaufgang (3005. 3011) sie zwischen 16 und 18^h des anbrechenden Tages noch östlicher zieht.

3050. Aus der Betrachtung der Variationscurven (Taf. V.) wird man sehen, daſs die Curve für den nächsten Monat, October, merkwürdig ist, indem sie, bei gleichem Charakter wie die des Septembers, doch weit von ihr absteht, und dieſs scheint herzurühren von dem Umstande, daſs die Sonne nun die Breite von St. Helena erreicht hat oder wenigstens beinahe. Meiner Voraussetzung gemäſs hat hier ein schwacher Nacht-Effect stattgefunden (3010); und um Mitternacht ist die Nadel in der mittleren Lage, sich langsam westwärts bewegend, wann die gröſsere Kälte, welche dem Sonnenaufgang vorausgeht, im Osten zur Wirksamkeit kommt, den westlichen Fortgang aufhebt, und sogar die Nadel ein Paar Stunden etwas ostwärts zieht, bis 18^h. Selbst die Sonnenregion ist um 16^h in demjenigen Quadranten (dem südöstlichen), daſs sie, wenn sie auf die Nadel wirken könnte, sich mit der Kälte im nächsten oder nordöstlichen Quadranten combiniren, und die Nadel ostwärts führen würde. Um 18^h sind beide, die vorausgehende Kälteregion und die nachfolgende Sonnenregion, in ihrem respectiven

Digitized by Google

Quadranten so weit vorgerückt, daſs sie vereint das Nadelende westlich führen, wie zuvor, bis 20^h und dann erfolgt die Schwingung von West nach Ost bis 24^h. Warum diese früher beginnt, länger anhält und vier Mal ausgedehnter ist als die Septemberschwingung, scheint davon herzurühren, daſs die Sonnenregion bis zur Breite von St. Helena heraufkommt, und somit in Bezug auf den magnetischen Meridian kräftiger, früher und länger wirkt, daſs sie auch, wegen der Westlichkeit der Declination, Punkte gleichen Abstandes vom magnetischen Meridian, so wie diesen selbst, früher erreicht, endlich sich ihr auch noch der Effect früherer Monate (3053) hinzufügt.

3051. Um 1^h beginnt die Nadel aus dem östlichen Extrem zurückzukehren, d. h. früher als in den vorhergehenden Monaten, weil der magnetische Meridian früher durchschnitten wird; dann folgt sie der Sonne bis 4^h, steht still, geht darauf vermöge der aus der Kälte entstehenden Abend- oder Nachtwirkung bis 10^h nach Osten zurück, kehrt, so wie die letztere im Quadranten vorrückt, abermals um (3004), bis sie zwischen 12 und 13^h in ihrer mittleren Lage ist. Dann wird sie von der kalten Region westwärts gezogen bis 16^h und darauf, so wie diese sich entfernt und zu wirken nachläſst, geht sie nach Osten zurück bis 18^h, wo sie noch westlich von ihrer normalen Lage ist; durch die aufgehende Sonnenregion, unterstützt vielleicht durch die ihr unmittelbar vorausgehende Kälte, welche nun wahrscheinlich auf dem magnetischen Meridian, oder darüber hinaus ist, wird sie endlich auf den Westpunkt vor der Sonnenschwingung geführt.

3052. Im December und Januar ist die Sonne südlich von der Station. Dieſs macht im allgemeinen Charakter der Curven für diese Monate keinen Unterschied, darf es auch nicht gemäſs der Hypothese, ausgenommen, daſs die Sonne, obwohl sie St. Helena sehr nahe ist, und sich ihrem Effect um diese Zeit noch der Effect der vorangehenden Monate hinzufügt (3050. 3053), sich doch in schwächeren Theilen des Quadranten befindet, und sie, während sie im

Digitized by Google

Hauptsegment ist, die Ecke und fast den Platz einnimmt, wo die beiden neutralen Ebenen einander scheiden; daher mufs ihre Wirkung geringer seyn, und so ist es auch; denn die Sonnenschwingung des Novembers und Februars ist gröfser als die des Decembers und Januars. Die Sonnenschwingung erfolgt im December zu derselben Zeit wie im October, obwohl sie in dem letzteren Monat den magnetischen Meridian nach, und in dem ersten vor Mittag schneidet; dennoch ist von einem zum andern nur ein Unterschied von einer halben Stunde, und die Beobachtungen sind vielleicht nicht gedrängt genug, um ihren besonderen Effect aus einem Intervall von vier Stunden absondern zu können. Aufserdem mögen accumulative Ursachen stören; die Orte der Decembercurve liegen sämmtlich etwas westlicher als die der Octobercurve.

3053. Der *cumulative* Effect der vorhergehenden Monate ist sehr wichtig und zeigt sich bei *St. Helena* deutlich (3050). Nimmt man z. B. die Curve des Septembers und vergleicht sie mit der des Octobers, als des folgenden Monats, so haben wir einen grofsen Unterschied von gewisser Art; vergleicht man ferner den September mit dem Monat, in welchem die Sonne vom südlichen Wendekreis zurückkehrt, statt zu ihm zu gehen, so zeigt sich, wenn sie dieselbe Lage wie im October erreicht hat, ein anderer auffallender Unterschied. Der März ist der nächste Monat für den zweiten Vergleich. Bis zu 20^h verändert sich dessen Curve wie die des Octobers, allein das obere Nadelende ist in der ganzen Zeit etwa eine halbe Minute östlich von seinem Platze im October. Um 20^h beginnt die Nadel im October aus Westen zu schwingen und erreicht das östliche Extrem um 24^h. Im März geht sie bis 21^h nach Westen; dann umkehrend erreicht sie das östliche Extrem um 1^h, so dafs die Schwingung eine Stunde später erfolgt, und während dieser Zeit ist das Ende eine halbe bis ganze Bogenminute westlicher als im October. Dieser Unterschied rührt her, glaube ich, von dem anhäufenden Effect der Monate October bis März, während welcher

Digitized by Google

Zeit die Wärme in der nördlichen Hemisphäre ab-, und in der südlichen zunimmt. Aehnliche Resulate in anderen Monaten machen es wahrscheinlich, daſs der Effect der Atmosphäre, obwohl hervorgerufen durch die Sonne, hinter dieser in ihrem jährlichen astronomischen Laufe zurückbleibt; und daſs deshalb die Sonne bei Annäherung an den Wendekreis weniger, und bei Entfernung von demselben mehr auszurichten scheint, als ihrem Ort zu der Zeit zukommt.

3054. Allein auch wo die Umstände scheinbar gleich sind, entspringt eine Verschiedenheit. So könnte man erwarten, daſs vom März bis zum April in einer Richtung und vom September zum October in der anderen Alles gleich wäre, mit Ausnahme eines geringen Verzögerungs-Effects (3053), welcher an beiden Seiten erscheinen würde; deſsungeachtet liegen März und April in Sabine's Curven *zwischen* September und October und nahe zusammen, während die beiden anderen weit aus einander sind. Diesen Effect schreibe ich den verschiedenen Wärme-Zuständen der beiden Hemisphären zu (Dove). Vom September zum October geht die Sonne aus einer Hemisphäre, die im Sommer eine mittlere Temperatur von 17°,4 höher als die andere im Winter hat; allein im März und April geht sie aus einer Hemisphäre, deren mittlere Temperatur im Sommer nur 10°,7 höher als die der anderen im Winter ist (2949), und diese respectiven Unterschiede müssen dahin streben, September und October zu trennen, und März und April zusammenzubringen, wie aus den Curven Taf. V. zu ersehen.

3055. Ich brauche nicht weiter in die Declinationsveränderung von St. Helena einzugehen; von den Linien der übrigen Monate gelten die schon gemachten Bemerkungen. Des Obersten Sabine's wichtige Frage über die Ursache der Richtungs-Verschiedenheit in verschiedenen Monaten (3045), scheint mir jetzt beantwortet zu seyn, sowohl für diese Station als für die übrigen, unter sehr verschiedenen Breiten gelegenen Stationen, wo diese Verschiedenheit sich merkbar macht (3016. 3022. 3039).

Digitized by Google

3056. Die *Inclination* zu St. Helena hat eine Variation von sehr einfachem Charakter, indem sie um 7^h ein Maximum und um 22 und 23^h ein Minimum hat, mit nur *einer* Progression. Sie geht also in der Mitte der Sonnenschwingung zu ihrem Minimum, d. h. das obere Ende der Nadel geht nach Westen und sinkt herab von 16^h bis 19^h oder 20^h, währenddeſs also die Neigung zunimmt; dann kehrt sie nach Osten zurück bis sie die neutrale Lage erreicht, während die Neigung noch mehr abnimmt. Die Nadel fährt fort nach Osten zu gehen, um die Sonnenschwingung zu vollenden, allein nun wächst die Neigung; um 24^h oder 1^h kehrt die Nadel (in Declination) hinter der Sonne nach Westen zurück, allein noch mit wachsender Neigung; um 5^h oder 6^h hat das Western fast aufgehört, und eine Stunde hernach ist die Neigung auf ihrem Maximum.

3057. So wie die Sonne und ihre Region vorübergehen, verringern sie die Neigung durch Niederdrückung der oberen Enden der Kraftlinien; und wie sie fortgehen, heben sich die Linien (2926. 2937) und die Neigung wächst. Die Ellipse oder Curve, welche die Bewegung des obern Nadelendes zu St. Helena darstellt, ist daher, so wie die Sonne von Osten emporsteigt, oben westwärts und unterwärts, und hinten unten gegen Ost; dann steigt sie um in den nächsten 24 Stunden wiederholt zu werden. Diese Richtung ist die umgekehrte von der repräsentativen Ellipse für Hobarton, welches ebenfalls eine südliche Inclination in gröſserem Grade hat. Allein dieſs stimmt vollkommen mit der Hypothese überein; denn da die Region oben in der Luft befindlich ist, ist sie über dem Winkel, welchen die Neigung mit dem Horizont von St. Helena macht, und deshalb muſs sie die Kraftlinien niederdrücken und die Neigung verringern. Zu Hobarton, wo die Region in den tropischen Theilen ist, befindet sie sich innerhalb des Winkels, den die Neigungslinie mit dem Horizont bildet, und deshalb biegt sie die Kraftlinie aufwärts und *vergröſsert* die Neigung, und so haben an beiden Orten die Stücke der Ellipse, welche hinsichtlich der Declination in

Zeit

Digitized by Google

Zeit und Richtung einander entsprechen, in Bezug auf Inclination entgegengesetzte Variationen.

3058. *Singapore* [1]). — Dieſs ist eine sehr interessante Station, weil sie (bei 103° 53′ östl. L.) nur 1° 16′ nördl. Breite hat, also dicht am Aequator liegt. Ueberdieſs ist ihre Declination auch nur 1° 40′ O und ihre Inclination 12° S. Sie ist also der Linie schwächster Kraft nahe. Der magnetische Aequator der Nadel ist dem Erdaequator fast parallel, und die Quadranten (2929) sind sehr einfach vertheilt, indem der magnetische und astronomische Meridian fast zusammenfallen. In unserem Sommer geht die Sonne bei Tage durch den östlichen und den westlichen Nordquadrant, in unserem Winter durch den östlichen und den westlichen Südquadrant; und in gewissen Monaten durch alle vier Quadranten, fast der neutralen Linie des magnetischen Aequator folgend.

3059. Wenn also die Kraftlinie frei wäre, d. h. keinen Halt in der Erde hätte (2919) würden wir, der Hypothese nach, nur eine geringe oder keine Veränderung bei der Nadel zu erwarten haben, besonders in den Monaten, in denen die Sonne über dem magnetischen Aequator ist. Allein weil eine Inclination vorhanden ist, und die Kraftlinien, welche die Nadel beherrschen, nach Süden in der Erde festgebunden (*tied up*) sind (2929), während sie sich in der Luft und im nördlich gelegenen Raum bewegen können, so haben wir sowohl bei der Declination als bei der Inclination eine Variation in vollkommen übereinstimmender Weise; und wenn man dieses sich einprägt, wird man, glaube ich, keine Schwierigkeit finden, die monatlichen Resultate gemäſs der Hypothese zu verfolgen.

3060. Zunächst sind die Variationscurven am Tage denen zu St. Helena Monat für Monat so ähnlich, daſs die für jene gelieferte Beschreibung auch für diese genügt (3048). Die Sonnenschwingung erfolgt zu derselben Zeit und der, wie ich glaube, von dem Charakter der beiden Hemisphären

1) Siehe die Curven Taf. V. Die Data für Singapore sind aus den neueren sehr werthvollen Arbeiten des Kapt. Elliot abgeleitet.

Digitized by Google

abhängige Effect stellt sich auch ein (3054. 2949). Im letzteren Theil des Sonnen-Rückgangs, so wie in den Nachtstunden von 5^h bis 14^h, zeigen sich indeſs auffallende Verschiedenheiten. Der Betrag der Variation erscheint gering; doch dieſs rührt hauptsächlich davon her, daſs die Horizontalebene, in der wir ablesen, fast mit der freien Nadel coïncidirt, und somit die vorhin (3009 Anmerk.) erwähnte Berichtigung, die zur Erlangnng des wahren Werths der Variation erfordert wird, hier sehr klein ist.

3061. Betrachten wir erstlich den *Juni*, wie bei St. Helena, so bewegt sich das obere Nadelende unter dem Einfluſs der Morgenkälte, ostwärts wie zuvor, bis 19^h, steht dann still, geht darauf, von der Sonne getrieben, bis 22^h nach Westen, schwingt herab und unten nach Osten bis 3^h; nun folgt es der Sonne nach Westen bis 7^h, steht still und kehrt, wegen der herannahenden Kälte (3065) immer langsamer kriechend nach Osten zurück. Im Juli östert die Nadel etwas mehr vor 19^h, westert bis 23^h, und östert abermals bis 4^h. Die Sonnenschwingung ist also gegen die im Juni um eine Stunde vorgeschoben, was, wie ich glaube, mit der Anhäufung der Wärme über dem Lande (3054), so wie mit dem verzögernden Effect der Sonne (3053) zusammenhängt. Im August östert das Nadelende bis 19^h, stärker als im Juli, und am stärksten unter allen Monaten; dann westert es stark vôr der Sonne bis 23^h, worauf die Sonnenschwingung beginnt und bis 5^h anhält, wie wenn die warme Region hinter der Sonne wäre, vielleicht gar 2 Stunden. Die Schwingungszeit ist sehr verlängert und nicht unnatürlich, da der Ort am Aequator und deshalb unter der Sonne liegt. Im September ist das Oestern und das Western, so wie die Sonnenschwingung geringer. Der April ist dem September gleich, ausgenommen, daſs letzterer den Effect der zuvor erwärmten Hemisphäre zeigt (3053).

3062. Dann giebt es zu Singapore vier Monate, November, December, Januar und Februar, wo die Sonne im Süden, und bei Tage ganz in den südlichen Quadranten steht (3058). Da die Sonne um 16^h oder 17^h aufgeht,

Digitized by Google

so bewegt sich der obere Theil der Kraftlinie (deren unterer in der Erde befestigt ist) bis 19^h oder 20^h nach Westen. Die Sonne ist zu dieser Zeit im südöstlichen Quadranten, und es stände vielleicht zu erwarten, daſs, wenn überhaupt eine Veränderung einträte, das nördliche oder obere Nadelende nach Osten ginge; allein es ergeben sich aus der Hypothese zwei oder drei Gründe, weshalb dieſs nicht geschieht. Zu diesem Effect müſste vor allem zunächst die Neigung Null seyn, und dann, wenn dieſs der Fall wäre, ist die Sonne so nahe in der neutralen Linie des magnetischen Aequators, daſs die Abweichung jedenfalls sehr klein wäre. Andererseits neigen die Kraftlinien gen Süden und werden also in der Erde gehalten. Die Wanderung der Sonne längs der neutralen Linie, welche bei ihrem Entstehen die ganze Kraftlinie nach Westen gesandt, und somit keine Declinationsveränderung bewirkt haben würde, kann jetzt nur die nördlichen Theile, so wie sie aus der Erde emporsteigen und mit dem allgemeinen Liniensysteme fortgeführt werden, nach Westen treiben, und somit den westlichen Gang der Nadel veranlassen, der wirklich eintritt. Auſserdem hat man, obwohl die Sonne südlich von jener neutralen Linie und auch von Singapore steht, Grund zu der Vermuthung, daſs die Mitte oder Resultante der warmen Region sogar von beiden nördlich ist (3063), was das eben beschriebene Western der Nadel unterstützen würde.

3063. Dove's Resultate zeigen, daſs die nördliche Hemisphäre, als Ganzes, wärmer ist als die südliche (2949). Ferner finden wir, wenn wir auf den Meridian von Singapore blicken, daſs in Norden weit mehr Land ist, was eine höhere Temperatur erzeugen muſs als im Süden; und selbst aus den Tafeln der localen unteren Temperatur ergiebt sich, daſs in Singapore der Mai, Juni, Juli und August die heiſsesten Monate sind, der November, December, Januar und Februar die kältesten, was Alles uns vermuthen läſst, daſs die warme Region der Atmosphäre im Norden der Sonne und selbst gar von Singapore liegt (3067).

Digitized by Google

3064. Um 20^h beginnt die Sonnenschwingung von West nach Ost, und dauert bis 2^h; dann geht die Nadel nach West, der Sonne folgend, bis 10^h oder 11^h, wo sie ihrem Mittel nahe ist; darauf fährt sie fort, sehr langsam nach Westen zu gehen, bis 17^h, wo die Wirkung der Morgensonne dieses Western beschleunigt, bis 20^h, wo die östliche Sonnenschwingung erfolgt. Die Curve in diesen Monaten ist von sehr einfachem Charakter; der Nacht- oder Kälte-Effect scheint nur klein zu seyn, indem er eher durch ein Stocken als durch eine deutliche Bewegung nach Osten angezeigt wird.

3065. Die östliche Bewegung des Nadelendes im Mai, Juni, Juli und August steht mit der westlichen im November, December, Januar und Februar während derselben Stunden bis 19^h im auffallenden Gegensatz, und ich schreibe dieſs dem Effect der kalten Region zu, welcher in den ersteren Monaten aus Osten kommt (3061) und in den letzteren fehlt. In Bezug hierauf haben wir ferner zu erwägen, daſs die warme Region nordwärts vom Aequator ist (3063), und daſs sie, so wie die Sonne sich von Norden nach Süden bewegt, es ebenfalls thut, sich jedoch nördlich von ihr hält. Die beiden kalten Regionen also, die unter höhern Breiten (3006) vor der Sonne in den Meridian gelangen, werden zu Singapore nicht dieselbe Relation haben, denn die im Süden wird dem Orte (*it*) näher, oder jedenfalls kräftiger, seyn als die im Norden. Wenn z. B. die Sonne nahe und am südlichen Wendekreis steht, wird die warme Region wahrscheinlich *über* Singapore hinweggehen und deshalb, weil sie am nächsten ist, zu dieser Zeit die kräftigste und directeste Lage haben; die kalten Regionen werden daselbst die schwächste Kraft und auch die ungünstigste Lage haben. Wenn aber die Sonne am nördlichen Wendekreis ist, ist die Kraft der warmen Region geschwächt, sowohl durch Entfernung als durch Richtung, und die südliche kalte Region erlangt durch vermehrte Stärke und gröſsere Nähe einen erhöhten Einfluſs, und bewirkt so das Oestern vor 19^h.

Digitized by Google

3066. Noch wird man zu St. Helena und Singapore von 5^h bis 14^h einen auffallenden Unterschied in der Richtung der Nachtcurven bemerken. Am ersteren Ort sucht das Nadelende erst ostwärts dann westwärts zu gehen, während es sich am letzteren erst nach Westen und dann nach Osten bewegt. Die Verschiedenheit, glaube ich, entspringt daraus, daſs die kalte Nachtwirkung zu St. Helena in gröſserer Ausdehnung erscheint als zu Singapore. Singapore zeigt jene Wirkung, wie eben beschrieben (3065), im Juni, Juli und August, doch nur in geringem Grade, und zur spätern Stunde. Zu St. Helena, welches unter 16° S. liegt, muſs aus den oben (3065) gegebenen Gründen, der Kälte-Effect mit gröſserer Kraft auftreten und deshalb erfolgt das Oestern um 6^h und später; daſs dieſs die Ursache sey, zeigt sich auch einigermaſsen durch die Temperaturtafeln. Denn während zu Singapore der Unterschied zwischen dem Maximum und Minimum in 24 Stunden nur 3° bis 4° ist, beträgt er auf St. Helena 4°,5 bis 7°, und vier Fünftel oder gar fünf Sechstel dieser Depression erfolgt um 9^h, so daſs 4 oder 5 Stunden früher eine kalte Region in Osten aufgeht, welche die in den Curven ausgesprochene östliche Ablenkung hervorbringt.

3067. Die *Inclinations*veränderung zu Singapore ist höchst einfach, und so, wie es sich nach der Hypothese erwarten läſst. Die Sonne oder die Wärmeregion, ist, beim Durchgang durch den Meridian, immer über den Linien und drückt sie nieder. Die Veränderung (*it*) ist in allen Monaten gleich, am gröſsten bei Tage, am kleinsten am Mittage, von 8^h bis 18^h ist die Inclination (*it*) fast gleich, dann, sowie die Sonne aufgeht, nimmt sie rasch ab, bis 23 oder 24^h, worauf sie, sowie die Sonne fort ist, fast eben so rasch zunimmt bis 7^h oder 8^h. Der Betrag der Variation ist am gröſsten, wenn die Sonne vorüber ist oder südlich von Singapore steht, am kleinsten dagegen im Juni und Juli, wenn letztere dem nördlichen Wendekreis nahe ist. Im December und Januar, wenn die Sonne dem südlichen Wendekreise nahe ist, ist sie bedeutender als im

Digitized by Google

Juni oder Juli, was abermals zu zeigen scheint, daſs die Wärme-Region hauptsächlich im Norden der Sonne liegt (3063).

3068. Die totale Kraft verändert sich einfach; sie ist ein Maximum von 9 bis 12^h, und ein Minimum um 22 oder 23^h, oder gegen Mittag. Die gröſste Variation erfolgt im April und October oder zur Zeit der Nachtgleichen, die kleinste im Juli und Juni oder zur Zeit der Solstitien. Die Kraft ist am kleinsten gegen Mittag, wenn, wie ich vermuthe, die obere Luft sich im Zustande der schlechtesten Leitung befindet, und ein Magnet darin eine gröſsere Kraft zeigen würde. Allein, wie dieſs auf die Curven unten an der Erde, wo sie dicht zusammengedrängt sind, einwirken würde, ist zweifelhaft. Alles was die Intensität betrifft, ist zu unsicher, und zu verwickelt, als daſs ich sie hier mit Nutzen betrachten könnte.

3069. Ich hoffe bald fernere experimentelle Data zur Erläuterung und Prüfung der von mir aufgestellten Ansicht über die physikalische Ursache der magnetischen Variationen zu geben, namentlich diejenigen, welche ich mittelst der Differential-Waage zu erlangen hoffe in Betreff der Wirkung des Sauerstoffs, die Magnetkraftlinien unter verschiedenen Umständen abzulenken [1]).

Royal Institution, 1850 Nov. 16.

1) Es folgt nun noch im Originale eine Reihe numerischer Tafeln über die stündlichen Veränderungen der magnetischen Elemente am Cap, zu St. Helena und Singapore, die wir hier fortlassen, da die Haupresultate derselben auch durch die Curven auf Taf. V. ausgedrückt werden. *P.*

II. *Acht und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

[Bei der Unmöglichkeit diese Abhandlung, die uns, wie die folgende, vom Hrn. Verf. aus dem *Philosoph. Transact. f.* 1852 zugesandt worden ist, ausführlich mitzutheilen, halten wir es für gut, sie wenigstens durch den Auszug kennen zu lehren, den die im *Philosoph. Magazine* 1852, *T. III.* enthaltenen *Proceedings* der *Royal Society* von ihr geben. *P.*]

Der Verf. definirt eine Magnetkraftlinie als diejenige Linie, welche von einer sehr kleinen Magnetnadel beschrieben wird, wenn sie in jeder, ihrer Länge entsprechenden Richtung so bewegt wird, daſs sie beständig eine Tangente der Bewegungslinie bleibt; oder als diejenige, längs welcher ein Querdraht in jeder Richtung bewegt werden kann, ohne daſs eine Tendenz zur Bildung eines elektrischen Stromes in ihm entsteht, während, wenn er in irgend einer andern Richtung bewegt wird, eine solche Tendenz vorhanden ist. Solche Linien werden durch Eisenfeilicht, welches man auf einen Magnet streut, angezeigt. Diese Linien haben eine bestimmte Richtung; sie besitzen in und an dieser Richtung entgegengesetzte Eigenschaften, und die Kräfte in irgend einem Theile derselben sind für einen gegebenen Magnet bestimmte. Sie können, wie der Verfasser glaubt, mit groſsem Vortheil angewandt werden an die Magnetkraft, ihrer Natur, Beschaffenheit und relativen Gröſse nach, vorzustellen, und zwar in vielen Fällen, wo andere Repräsentationen der Kräfte, z. B. Wirkungscentra, nicht anwendbar sind.

Der Ausdruck *Kraftlinie*, wie er eben definirt ist, soll nichts bezeichnen als die *Stärke* und *Richtung* der Kraft an einem bestimmten Ort; und er schlieſst keine Idee von der Natur der physischen Ursache der Erscheinungen ein. Sollten zugleich Gründe vorhanden seyn zu der Ansicht, daſs der physische Zustand der Kraft überhaupt theilnehme an

Digitized by Google

der Natur eines Stroms oder eines Strahls, einer Ansicht, zu welcher der Verfasser hinneigt, so sieht er in jenem Ausdruck kein Hindernifs, kein gröfseres als in den Ausdrücken *Strom* und *Strahl,* wie sie bei Betrachtungen der Elektricität und des Lichts gebraucht werden.

Die *Magnetkraftlinien,* wie sie eben definirt wurden, lassen sich entweder durch eine Magnetnadel oder durch einen bewegten Draht erkennen; allein die beiden Methoden gründen sich auf sehr verschiedene Zustände und Wirkungen der Magnetkraft, und der bewegte Draht scheint die meiste Anwendung zuzulassen. Das Princip läfst sich anwenden auf Orte, die für die Nadel unzugänglich sind, und es kann, bei jedem Abstand vom Centralmagnet, die Kräfte in einer gegebenen Ebene oder Fläche aufsummen. Es hat keine Beziehung zu den Resultaten der Attraction oder Repulsion, ist ihnen in einigen Fällen entgegengesetzt; allein es giebt, wie der Verfasser glaubt, eine richtige Ansicht von der Anordnung der Magnetkräfte, und führt zu einem genaueren Verständnifs der Natur der Kraft. Aus diesen Gründen empfiehlt er dessen Anwendung, nicht mit Ausschlufs der Nadel, sondern in Verbindung mit derselben. Er entwickelt dann die experimentellen Methoden und deren Resulate, zunächst bei einem Magnetstab.

Zwei Magnetstäbe, jeder 12″ lang, 1″ breit und 0″,4 dick, wurden in einigen Abstand und die gleichnamigen Enden in gleicher Richtung neben einander und parallel an einer Axe befestigt, so dafs man sie als einen einzigen Magnetstab nach Belieben um eine gemeinschaftliche Axiallinie rotiren lassen konnte. Ein Draht, welcher in den einen Pol eintrat, wurde längs der Axe dieser magnetischen Vorrichtung fortgeleitet, in der Mitte, an dem aequatorialen Theile, nach aufsen gebogen und ausseits des Magnets in einiger Entfernung zu dem Orte zurück geführt, von wo er ausging. Zuweilen bestand dieser Draht aus drei Theilen, erstens einem axialen, zweitens einem radialen, der vom Centrum zur Oberfläche des Aequators ging und daselbst mit einem den Magnet einschliefsenden Kupferring verbunden

Digitized by Google

war, und drittens einem Theil, der von diesem Ring an der Aufsenseite des Magnets zu dem Ausgangspunkte zurückführte. Jeder dieser Theile konnte entweder für sich oder in Verbindung mit den übrigen rotiren; der elektrische Contact war in allen Fällen vollkommen, während der Draht durch einen seidenen Ueberzug von dem Magnete isolirt war. Die Enden dieser Schlinge (*loop*), wie sie heifsen mag, waren mit einem Galvanometer verbunden, und so konnte die An- oder Abwesenheit eines elektrischen Stromes und dessen Stärke gemessen werden. Es wurden zwei Galvanometer angewandt, ein von Ruhmkorff, mit dünnem Draht und sehr empfindlich, das andere, vom Verfasser construirt, mit 0'',2 dickem Kupferdraht, der nur ein Mal um die Nadel herumging; für starke Ströme von geringer Intensität, wie die in dem rotirenden Draht entstehenden, wurde das letztere viel empfindlicher befunden als das erstere.

Es werden nun die allgemeinen Beziehungen des bewegten Drahts zu den Magnetkraftlinien specificirt und es wird dabei auf die vom Verfasser in der ersten Reihe seiner Experimental-Untersuchungen gemachte Entdeckung und Beschreibung verwiesen; auch wird das Gesetz der Entwicklung der inducirten Ströme angegeben. Um es leicht auszudrücken (*Referring to an easy natural standard*) kann man sagen, dafs wenn unter unsern Breiten, wo die Kraftlinie 69° herunterneigt, wie die Neigungsnadel zeigt, eine Person sich mit ausgestreckten Armen vorwärts bewegte, die Richtung des elektrischen Stroms, der sich in einem durch die Arme vorgestellten Draht zu erzeugen suchte, von der rechten Hand durch die Arme und den Körper zu der linken gehen würde.

Bei einigem Nachdenken ist ersichtlich, dafs ein Draht, welcher einen regelmäfsigen Magnetstab an einem Ende berührt, dann durch die Luft geht, um wieder an dem Aequator mit ihm zusammen zu kommen, nach einmaliger Herumführung um den Magnet, wobei er in schleifendem Contact mit dem Aequator zuletzt seine anfängliche Lage wieder

Digitized by Google

einnimmt, alle äuſseren Kraftlinien des Magnets einmal, und weder mehr noch weniger, durchschnitten haben wird, wie auch seine Bahn durch die Luft oder der Ab... seiner Theile von dem Magnet gewesen seyn mög... nun der äuſsere Theil der eben beschriebenen Sc... dieser Weise eine gewisse Zahl von Graden um des Magnets herumgeführt wird, und letzterer still... zeigt das Galvanometer einen elektrischen Strom ... bener Richtung an, und wenn die geeigneten V... maſsregeln (welche beschrieben werden) getroffe... ist der Strom für eine gleiche Zahl von Graden ... drehung, von gleichem Betrage, es mag die Be... schneller oder langsamer geschehen, oder der D... seinem Laufe einen gröſsern oder geringern Abstan... Magnet haben.

Wenn der äuſsere Theil der Schlinge, so wie a... axiale Theil derselben, festgehalten wird, und ma... den Magnet mit dem kurzen radialen Theil des D... Rotation, so wird ebenfalls ein elektrischer Strom ... von genau gleicher Stärke mit dem früheren, f... gleiche Zahl von Graden der Umdrehung; allein sei... *tung* ist die umgekehrte von der des früheren Stroms ... die Richtung der Rotation dieselbe ist. In jedem Fall ... det bei Umkehrung der Rotationsrichtung auch eine ... kehrung des erzeugten Stromes statt. Der sich beweg... radiale Theil des Drahts war in diesem Fall isolirt ... Magnet; und viele andere Versuche, z. B. mit Scheiben ... den Enden des Magnets, zeigten, daſs die Bewegung ... Magnetes selber gleichgültig ist, und daſs, er mag rot... oder stillstehen, wenn nur der Draht sich bewegt, das ... sultat dasselbe ist.

Die Rotation des axialen Theils der Schlinge er... keinen Effect; ob dieser Theil rotire oder nicht, hat ... den geringsten Einfluſs auf die schon beschriebenen ... sultate; er wirkt bloſs als Leiter und ist in jeder and... Beziehung indifferent. Dieser axiale Draht kann durch de... Magnet selber ersetzt werden; denn wenn er nur vom Pol...

Digitized by Google

ab nach Auſsen da ist, und der radiale Draht den Magnet in der Mitte berührt, so daſs die Leitung geschlossen ist, sind alle Resultate genau wie zuvor. Der axiale Draht kann auch zur Mitte gehen und dort den Magnet berühren und der radiale Draht entfernt werden: es treten dieselben Resultate auf. Endlich können beide Theile, der axiale und der radiale fortgenommen, und der Magnet sowohl als Leiter wie als bewegter Draht benutzt werden, und doch bleiben die Resultate unverändert.

Aus Resultaten wie diese, zieht der Verfasser in Bezug auf die anfangs definirten *Magnetkraftlinien* folgende Schlüsse. Der Betrag der Magnetkraft (wie es der entwickelte elektrische Strom zeigt) ist ein bestimmter, und für dieselben Kraftlinien gleich, welch einen Abstand der Punkt oder die Ebene, wo die Kraft ausgeübt wird, vom Magnet auch haben möge. Ein Verlust oder Zerstören oder Verschwinden oder Latentwerden der Magnetkraft giebt es nicht. Convergenz oder Divergenz der Kraftlinien macht keinen Unterschied im Betrage ihrer Kraft. Schiefe der Durchschneidung hat auch keinen Einfluſs. In einem gleichmäſsigen Felde der Magnetkraft ist die Elektricitätsentwicklung proportional der Zeit der Bewegung oder der Geschwindigkeit oder dem Betrage der durchschnittenen Kraftlinien.

Hierauf wurde der *innere Zustand* des Magnets untersucht, mittelst der Resultate, die mit dem radialen Draht oder dem rotirenden Magnet, wenn dieser einen Theil der Schlieſsung ausmachte, erhalten wurden. Der Schluſs daraus war: daſs innerhalb des Magnets ebenso bestimmte Magnetkraftlinien von gleichem Betrage vorhanden sind wie auſserhalb desselben, daſs diese die Fortsetzung von jenen sind, und daſs jede Magnetkraftlinie, wie weit sie sich auch vom Magnet ab erstrecken möge, (principiell ins Unbestimmte) eine geschlossene Curve ist, welche in gewissem Theile ihrer Bahn durch den Magnet geht, übereinstimmend mit dem, was man Polarität nennt.

Da in einem geschlossenen Draht, wenn er quer durch

Digitized by Google

Magnetkraftlinien geht, ein elektrischer Strom inducirt wird, so wurde zunächst der Einfluſs einer Veränderung der *Masse* oder des *Durchmessers* des Drahtes untersucht, und eine andere Form von Apparat angewandt, in welchem die Drahtschlinge einen gegebenen Betrag von Linien durchschneiden konnte. Jede Schlinge bestand aus einem Draht von gleicher Länge, aber verschiedenem Durchmesser, oder aus einem oder mehren Drähten von gleichem Durchmesser. Es ergab sich, daſs der entwickelte Strom oder Betrag von Elektricität sich nicht einfach verhält wie der Raum, eingenommen von der *Breite* des Drahts, welche der Kraftlinie, die Relation zu der Polarität der Kraft hat, entspricht auch nicht wie der, eingenommen von der *Dicke* oder derjenigen Dimension des Drahts, welche die Anzahl der durchschnittenen Kraftlinien einschlieſst und, entsprechend der Bewegungsrichtung, Relation zu der aequatorialen Beschaffenheit der Linien hat, sondern sich wie beide vereint oder wie die Masse des Drahts verhält.

Der bewegte Draht wurde darauf mit verschiedenen Medien umgeben, wie Luft, Alkohol, Wasser, Terpenthinöl u. s. w. allein in allen waren die Resultate gleich.

Es wurden auch verschiedene Metalle angewandt, und Resultate erlangt, die mit den in der zweiten Reihe dieser Untersuchungen beschriebenen übereinstimmen. Es ergab sich, daſs der erregte Strom sich direct verhält wie die Leitungsfähigkeit der angewandten Substanz. Er steht in keiner Beziehung zum magnetischen Charakter des Körpers; denn Eisen liegt zwischen Zinn und Platin, und zeigt keine andere Verschiedenheit als die vom Leitungsvermögen herrührende, weicht von diesen Metallen viel weniger ab als es nichtmagnetische Metalle thun.

Hierauf kam die magnetische *Polarität* in Betracht. Der Verfasser versteht mit diesem Worte die entgegengesetzten, und antithetischen Wirkungen, die an den gegenüberliegenden Enden oder gegenüberliegenden Seiten eines begränzten Stücks einer Kraftlinie auftreten. Er ist der Meinung, daſs diese Eigenschaften oder Zustände nicht immer mit

Sicherheit durch Anziehungen und Abstoſsungen angezeigt werden. So wird, wie aus früheren Untersuchungen über diamagnetische und paramagnetische Wirkungen ersichtlich, eine Lösung von Eisenvitriol durch einen Magnetpol angezogen, wenn sie von einer verdünnteren Lösung umgeben ist, aber abgestoſsen, wenn sie von einer concentrirten Lösung umgeben ist. Dennoch kann die Richtung der durch sie und die umgebenden Media gehenden Kraftlinien in diesen beiden Fällen nicht umgekehrt seyn, und daher muſs die Polarität dieselbe bleiben. Der bewegte Draht zeigt indeſs in solchen Fällen die wahre Polarität oder die Richtung der Kräfte an. Zur Anwendung ihrer Principien in dieser Beziehung auf die Metalle wird ein Apparat beschrieben, durch welchen man Scheiben von verschiedenen Metallen zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets rotiren lassen, und die entwickelten elektrischen Ströme zu einem Galvanometer führen kann. Mögen nun die Scheiben von paramagnetischen und diamagnetischen Metallen seyn, entweder von Eisen, oder von Wismuth, Kupfer, Zinn oder Blei, so zeigt doch die Richtung des entstandenen Stroms, daſs die durch die Metalle gehende magnetische Kraftlinie in allen Fällen *dieselbe* ist, und folglich wird die Polarität darin auch dieselbe seyn.

In Uebereinstimmung mit der in diesem Aufsatz enthaltenen Definition der *Magnetkraftlinie* entwickelt der Verfasser nun ausführlicher seine Meinung in Betreff der Ausdrücke, die er in den drei letzten Reihen seiner Untersuchungen gebraucht hat; und auf die früheren, seit dem Jahre 1830 erhaltenen Resultate verweisend, setzt er aus einander, welchen Einfluſs die Idee der Kraftlinien gehabt habe auf den Gang seiner Untersuchungen und auf die zu verschiedenen Zeiten erlangten Resultate, deren Ausdehnung er ihr verdankt. Zuletzt empfiehlt er noch aus speciellen Gründen die Untersuchung der Magnetkraftlinien mittelst eines bewegten Leiters.

Digitized by Google

III. *Neun und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Nach den *Proceedings of the Roy. Society* im *Phil. Mag.* 1852 *T. III. p.* 309.)

In der gegenwärtigen Untersuchungsreihe bemüht sich der Verfasser zunächst die in der vorhergehenden rücksichtlich des bestimmten Charakters der Magnetkraftlinien angekündigten Principien festzustellen, und zwar durch Resultate, die experimentell mit der Magnetkraft der Erde erhalten worden. Zu dem Ende kehrt er zu dem früher beschriebenen dicken Galvanometerdraht zurück und ermittelt die Vorsichtsmaſsregeln in Bezug auf Sauberkeit (*cleanliness*) der Gewinde, Dicke und Kürze der Leiter, Vollkommenheit der, entweder durch Löthen oder durch Quecksilber bewirkten, Berührungen; auch giebt er die Werthe doppelter Beobachtungen an d. h. solcher zu beiden Seiten des Nullpunkts gemachten. Dann erläutert er die Natur des auf die Nadel ausgeübten Impulses, daſs er nicht der eines constanten Stroms in begränzter oder unbegränzter Zeit sey, sondern der einer gegebenen Elektricitätsmenge, die innerhalb einer kurzen Zeit entweder regel- oder unregelmäſsig wirkt. Es wird experimentell gezeigt, daſs solche Impulse gleiche Ablenkungsresultate hervorbringen, und daſs wenn innerhalb einer begränzten Zeit zwei oder mehre solcher Impulse gegeben werden, der ganze Schwingungsbogen nahezu proportional ist der Anzahl derselben, so daſs der Betrag der Ablenkung, *innerhalb gewisser Gränzen,* die als Strom durch das Instrument gegangene Elektricitätsmenge beinahe direct anzeigt.

Wird aus einem Draht ein Quadrat von 12″ Seite gebildet, dasselbe an einer durch die Mitte zweier gegenüber stehenden Seiten gehenden Axe befestigt, diese Axe winkelrecht gegen die Neigungslinie gestellt, und das Ganze

Digitized by Google

nun in Rotation versetzt, so schneiden, bei jeder Umdrehung, zwei Seiten des Quadrats die Kraftlinien der Erde zwei Mal, während sie durch ein Areal von einem Quadratfuſs gehen. Die Ströme, welche sich dann in den unteren und oberen Theilen des Rechtecks zu bewegen trachten, vereinigen sich, um einen Strom durch den Draht zu treiben, und wenn dieser Draht an einem dicht bei seiner Axe liegenden Orte aufgeschnitten, und daselbst mit einem (im Aufsatz beschriebenen) Commutator von einfacher Construction verbunden wird, so kann der im Rechteck circulirende Strom zu einem Galvanometer geleitet und daselbst gemessen werden. Ein solches Rechteck, gebildet aus Kupferdraht von 0,05 Zoll Dicke, erzeugte bei einer Umdrehung einen gewissen Schwingungsbogen. Fünf oder zehn Umdrehungen innerhalb der Schwingungszeit der Nadel ausgeführt, erzeugten nahezu das Fünf- oder Zehnfache dieser Ablenkung. Das mittlere Resultat im vorliegenden Falle war 2°,624 pro Umdrehung. Als dieselbe Drahtlänge zu verlängerten oder verkürzten Rechtecken umgebildet, also das eingeschlossene Areal in verschiedenen Richtungen gegen die Umdrehungsaxe verringert wurde, war doch die Ablenkung jedesmal proportional dem eingeschlossenen Areal, was zeigt, daſs der entstandene Effect proportional war der Anzahl der von dem rotirenden Drahte durchschnittenen Kraftlinien. Dasselbe Resultat wurde erhalten, als zwei Quadrate angewandt wurden, deren Areal im Verhältniſs 1 : 9 standen.

Quadrate von gleichen Flächeninhalt aus Kupferdraht von verschiedener Dicke gebildet, lieſsen die Wirkung des Widerstandes (*obstruction*) in den leitenden Theilen des Systems erkennen und messen. So waren bei Drähten von 0",05, 0",1 und 0",2 Durchmesser, also 1, 4 und 16 Masse, die Ablenkungen 1,0, 2,78 und 3,45, im Resultat fast identisch mit dem, welches bei früheren Untersuchungen mit denselben Drähten durch den Gebrauch von Schlingen (*loops*) und einem Magnetstab (*local magnet*) erhalten worden war. Beim Vergleiche zweier gleichen Rechtecke,

Digitized by Google

das eine bestehend aus einem 4 Fuſs langen und 0,1 Zoll dicken Draht in einem Umgang, das andere aus einem 16 Fuſs langen und 0,05 Zoll dicken Draht in vier Umgängen, entwickelte, bei gleichem Betrage von Bewegung, das erstere die gröſsere Elektricitätsmenge, das letztere die höhere Elektricitätsspannung, übereinstimmend mit den ausgesprochenen Principien. Der Verfasser verweiſst dann auf den Gebrauch von Drahtringen aus einer oder mehreren Windungen, und giebt die Fälle an, in welchen sie werthvolle Mittel zur experimentellen Untersuchung abgeben.

Der relative Betrag und die Anordnung der Kräfte eines Magnets, wenn er allein oder in der Nähe anderer Magnete ist, bildet den Gegenstand des gegenwärtigen Aufsatzes. Es wird zunächst eine Unterscheidung gemacht zwischen gewöhnlichen Magneten, welche von anderen Magneten stark influencirt werden, so daſs ihre äuſsere Kraft bedeutend variirt, und den sehr harten Magneten, wo dieser Einfluſs wenig oder gar nichts beträgt. Die Kraft eines gegebenen Magnets wurde nach der in der letzten Reihe gegebenen Weise gemessen durch eine Drathschlinge (*loop*), die einmal über seinen Pol fortging. Ein gegebener harter Magnet, in unveränderlicher Lage, solchergestalt abgeschätzt, ergab eine Kraft, die einer Ablenkung von 16°,3 aequivalent war. Dann wurde diesem ein anderer Magnet, dessen Kraft 25°,74 betrug, nahe gebracht, in verschiedenen Lagen, mit gleich- oder ungleichnamigen Polen gegenüber, so daſs seine Kraft zuweilen verstärkt, zuweilen geschwächt werden muſste. Es ergab sich, daſs im günstigsten Falle, wenn nämlich die beiden Stäbe zu einem Hufeisenmagnet combinirt waren, die Kraft des ersten nur um 2°,45 verstärkt wurde, und diese Verstärkung bei Fortnahme des überwiegenden Magnets sehr viel verlor; im umgekehrten Fall ergab sich eine Schwächung von nur 1°. Ein vom Dr. Scoresby gemachter, sehr harter Magnet von 6°,88 Kraft wurde unter dem Einfluſs eines andern von doppelter Kraft in beiderlei Weise nicht merklich verändert. Unter dem Einfluſs eines anderen von sechsfacher Kraft erlitt eine Veränderung von nahe

Digitized by Google

nahe 1°. Gewöhnliche Magnete werden um die Hälfte ihrer Kraft und darüber verändert, im äuſsersten Falle ganz überwältigt und umgekehrt.

Aus diesen Resultaten folgert der Verfasser, daſs die (wie zuvor definirten) Kraftlinien verschiedener Magnete, bei vollkommener Unveränderlichkeit derselben, in günstigen Lagen coalesciren, und durch diese Coalescenz keine Vermehrung der gesammten Kraft erfolgt, so daſs die Querschnitte der benachbarten (*associated)* Pole dieselbe Kraftsumme geben als die Querschnitte der Linien beider Pole für sich, daſs ebenso wie der Betrag der äuſseren Kraft des Magnets sich nicht verändert, auch der Betrag der inneren Kraft unverändert bleibt, daſs die Verstärkung der Kraft auf eine Magnetnadel oder ein Stück weichen Eisens zwischen zwei gegenüberstehenden günstigen Polen veranlaſst wird durch eine Concentrirung der zuvor zerstreuten Linien und nicht durch Hinzufügung der Kraft, die durch die Kraftlinien des einen Pols vorgestellt wird, zu der der Kraftlinien des anderen. Durch *all* die Kraftlinien wird nicht mehr Kraft repräsentirt als zuvor, und eine Kraftlinie ist in sich selbst darum nicht kräftiger, weil sie mit einer Kraftlinie eines andern Magnets coalescirt. In dieser wie in anderer Beziehung ist die Analogie zwischen dem Magnet und der Volta'schen Säule vollkommen.

Der Aufsatz schlieſst mit einigen practischen Bemerkungen über die Darstellung der Kraftlinien durch Eisenfeilicht und mit einer Beschreibung der Beugung, welche die Linien durch Halbkugeln von heiſsem und kaltem Nickel erleiden, und die der Verfasser als entsprechend der Wirkung des warmen und kalten Sauerstoffs in der Atmosphäre betrachtet, wie er sie zur Erklärung einiger Phänomene des atmosphärischen Magnetismus, besonders der jährlichen und täglichen Variation, angewandt hat [1]).

1) Einen späteren Aufsatz des Hrn. Verfassers: Ueber den physischen Charakter der Magnetkraftlinien (*Philosoph. Magazine, Juni* 1852, *p.* 401 — 428) müssen wir, einstweilen wenigstens, ganz übergehen. *P.*

Digitized by Google

IV. *Ueber die Farben dicker Platten; von G. G. Stokes,*

Lucasian-Professor der Mathematik an der Universität zu Cambridge.

(Aus den *Transact. of the Cambridge Phil. Society, Vol. IX. pt. II.*)

Der Ausdruck »*Farben dicker Platten*« ist einer Klasse von Erscheinungen beigelegt worden, die Newton entdeckt und in seiner *Optics*, Buch II, Pt. IV. beschrieben hat. Bei Newton's Versuch wurde das Sonnenlicht durch ein Loch im Fensterladen in ein dunkles Zimmer geleitet und winkelrecht auf einen gläsernen, hinten belegten Hohlspiegel fallen gelassen. Dann war ein weiſses Kartenblatt, das ein kleines Loch hatte, im Abstand des Centrums der Krümmung des Spiegels eingeschaltet, so daſs das regelmäſsig reflectirte Licht durch dasselbe kleine Loch, durch welches es eingetreten war, zurückkehrte. Es zeigte sich dann auf der Karte rings um das Loch eine Reihe Farbenringe. Die Bildung dieser Ringe wurde von Newton dem beim Eindringen in das Glas zerstreuten und darauf regelmäſsig reflectrirten und gebrochenen Lichte zugeschrieben; und es gelang ihm, aus seiner Theorie der Anwandlungen die Gesetze dieser Ringe herzuleiten, hinsichts sowohl der Relation zwischen den Durchmessern der successiven Ringe, als auch der Farbenordnung und der Veränderung im Durchmesser eines gegebenen Ringes, entsprechend einer Veränderung entweder im Krümmungsradius der Flächen oder in der Dicke des Glases, ja selbst hinsichtlich der absoluten Gröſse des unter gegebenen Umständen gebildeten Systems. Die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn der Spiegel ein wenig geneigt wird, so daſs das Bild auf eine Seite des Loches zu liegen kommt, sind sehr sonderbar, und von Newton in seiner 10. und 11. Beobachtung beschrieben.

Im Laufe einer Reihe experimenteller Untersuchungen über diese Ringe entdeckte der Duc de Chaulnes zufällig [1]), daſs ihre Lebhaftigkeit durchs Behauchen des Glases

1) *Mémoires de l'Académie*, 1755 *p*. 136.

Digitized by Google

bedeutend gesteigert wird. Um sich eine bleibende Trübung zu verschaffen, da die Feuchtigkeit bald verdunstete, breitete er ein Gemisch von Milch und Wasser in geringer Menge auf der Fläche aus, welches nach dem Trocknen einen Grad von Trübheit hinterlieſs, der zu den Versuchen sehr geeignet war. Als er statt des Glasspiegels einen Metallspiegel nahm, vor welchen er ein matt gemachtes Glimmerblatt aufstellte, konnte er leicht beobachten, wie sich bei einer Veränderung im Abstande des Glimmers vom Spiegel, der Durchmesser der Ringe veränderte. Bei dieser Form des Versuchs war die Glasplatte ersetzt durch die Luftplatte, die zwischen dem Glimmer und dem Spiegel vorhanden war. Es wurden auch Ringe erzeugt, wenn das matte Glimmerblatt durch einen Schirm aus feinem Musselin ersetzt war. In diesem Falle waren jedoch, der Angabe des Herzogs zufolge, die Ringe beinahe quadratisch, obwohl an den Ecken etwas abgerundet. Eine Reihe paralleler Drähte gab nur einen hellen Streif, durchschnitten von kürzeren Streifen, die lebhaft gefärbt waren. Selbst die Klinge eines Messers erzeugte eine ähnliche Erscheinung, zwar schwach, aber hinreichend, um die Identität mit den früheren festzustellen. Es ist unnöthig, hier die theoretischen Ansichten des Duc de Chaulnes aus einander zu setzten, da die Fortschritte der Optik seitdem zu einer vollständigen Erklärung der Bildung dieser Ringe geführt haben.

Der Undulationstheorie gemäſs, wurden die Farben dicker Platten zuerst von Th. Young erklärt [1]); er leitete sie ab von der Interferenz zweier Lichtbündel, von welchem das eine beim Eintritt in das Glas zerstreut, und dann regelmäſsig zurückgeworfen und gebrochen, das andere aber erst regelmäſsig gebrochen und zurückgeworfen und dann bei seiner Rückkehr durch die erste Fläche zerstreut wird. Th. Young's Erklärung ist ungemein kurz, und er hat mehr die Anwendung des groſsen damals neu-

1) *On the Theory of Light and Colours. Phil. Transact. f.* 1802, *p.* 41.

entdeckten Interferenzprincips auf die Erklärung des Phänomens gezeigt, als den Gegenstand in seinem Detail verfolgt. Aus der aufmerksamen Lesung seines Aufsatzes geht übrigens hervor, daſs wenigstens die rohen Umrisse der vollständigen Erklärung ihm deutlich vorschwebten.

Im Laufe eines Aufsatzes, betitelt: »Versuche zur Erforschung der Ursache der concentrischen Farbenringe welche Sir Isac Newton zwischen zwei auf einander gelegten Objectivgläsern entdeckte« erwähnt Sir William Herschel eines Versuchs, bei welchem Ringe von der Natur der dicken Platten bloſs dadurch erzeugt wurden, daſs vor einem Metallspiegel, der wie der Spiegel bei Newton's Versuch aufgestellt war, Puder in der Luft verbreitet wurde [1]). Das Resultat dieses Versuchs wurde von Herschel mit Recht als unerklärbar nach der Theorie der Anwandlungen betrachtet. Es mag hier zugleich bemerkt seyn, daſs es mit der Undulationstheorie in vollem Einklange steht.

In den *Ann. de Chimie et de Physique T. I* (1816) *p.* 87 findet sich ein Bericht von Ampère und Poisson über eine Abhandlung von Pouillet, welche einige Versuche über die Ringe enthält. Die Versuche sind meistens dieselben wie die des Duc de Chaulnes, allein begleitet von Messungen. Hr. Pouillet fand, daſs Ringe entstehen, wenn man vor einem Metallspiegel einen opaken Schirm mit irgendwie gestalteter Oeffnung anbringt. Hiebei waren die Ringe rund, wie auch die Gestalt der Oeffnung seyn mochte. Die Versuche werden von Hrn. Pouillet in seinen *Elémens de Physique T. II. p.* 476 angeführt.

Eine vollständige Erklärung der Ringe, gemäſs der Undulationstheorie, ist von Sir John Herschel in seinem *Treatise on Light* gegeben [2]). Es wird angenommen, die Ringe seyen nach Newton's Weise mittelst eines Glasspiegels gebildet und der leuchtende Punkt liege in der Axe. Nach Untersuchung des elementaren Ringsystems,

1) *Philosoph. Transact. f.* 1807 *p.* 231.

2) *Encyclopaedia Metropolitana, Arts.* 676 *etc.*

Digitized by Google

welches erzeugt seyn würde durch die beiden Bündel, die beim Hin- und Rückgang den Durchschnittspunkt der vorderen Fläche mit der Axe schneiden und dabei zerstreut werden, zeigt Sir John Herschel, dafs, angenommen die Flächen seyen ein Paar concentrische, den Lichtpunkt zum Centrum habende Kugeln, die elementaren Systeme, welche den verschiedenen Elementen der Vorderfläche entsprechen, einander überdecken, in solcher Weise, dafs auf den, in der Entfernung des Lichtpunkts gehaltenen Schirm ein deutliches System geworfen werden würde. Die für die Ringe aus der Theorie hervorgehenden Gesetze waren genau die von Newton entdeckten und die berechneten Gröfsen stimmten fast genau mit Newton's Messungen.

Seitdem hat Dr. Whewell eine Reihe Farbenstreifen entdeckt, welche entstehen, wenn das an einem, einige Fufs entfernten, ebenen und belegten Glasspiegel reflectirte Bild einer nahe beim Auge gehaltenen Kerze betrachtet wird. Diese Beobachtung wurde Hrn. Quetelet mitgetheilt, welcher sie veröffentlichte [1]). Bei gemeinschaftlicher Wiederholung des Versuchs fanden Dr. Whewell und Hr. Quetelet, als wesentliche Bedingung für den Erfolg, dafs die Oberfläche nicht vollkommen glänzend sey, und dafs, um sich die Bildung der Streifen zu sichern, man nur einen kalten Spiegel sanft zu behauchen brauche. Statt des Hauchs, der bald verdampft, empfiehlt Hr. Quetelet einen Ueberzug von Fett [2]).

Zum Schlusse dieses geschichtlichen Abrisses des Gegenstandes mag es noch erlaubt seyn, Hrn. Dr. Lloyd meinen Dank abzustatten für seinen werthvollen Bericht über die physikalische Optik, welcher eine kurze Nachricht von allem bisher über den Gegenstand Bekannten enthält, begleitet mit Hinweisungen auf die Original-Aufsätze.

Meine Aufmerksamkeit wurde durch den Meister (*Master*) des *Trinity College* auf den Gegenstand hingelenkt; er zeigte mir die eben erwähnten Streifen, die er kurz darauf zur

1) *Correspondance mathématique et physique T. V.* (1829) *p.* 394.
2) *Ib. T. VI. p.* 69.

Digitized by Google

Kenntniſs dieser Gesellschaft brachte [1]). Es schien mir gleich anfangs, daſs diese Streifen von der Natur der Farbenringe dicker Platten seyen, so daſs die Theorie der ersteren nur ausgearbeitet zu werden brauche, da die der letzteren bekannt ist. Hätte ich einen Zweifel hieran gehabt, so würde er bald geschwunden seyn, als ich zur Anstellung von Versuchen schritt; denn bei zweckmäſsiger Abänderung der Versuche ergab sich unwiderleglich, daſs beide von gleicher Natur seyen.

Die entweder ebenen oder krummen Spiegel wurden in der folgenden Weise zubereitet, die ich Jedem, der die Versuche zu wiederholen wünscht, als leicht und wirksam empfehlen kann. Man gieſst ein Gemisch von drei oder vier Theilen Wasser und einem Theil Milch auf den horizontal gehaltenen Spiegel und läſst es sich auf demselben ausbreiten. Nun hält man ihn senkrecht vor einem Feuer, wodurch der gröſsere Theil des Gemisches abläuft und der Rückstand in zwei bis drei Minuten eintrocknet; dann ist der Spiegel zum Gebrauch fertig. Um das Miſslingen der Versuche über die Whewell'schen Streifen zu verhüten, will ich hier erwähnen, daſs, um sie ordentlich zu erblicken, das Bild der Flamme deutlich gesehen werden muſs, kurzsichtige Personen daher eine Lupe oder Brille nöthig haben.

Ein Hohlspiegel, mit Milch und Wasser zubereitet, paſst gut zur Anstellung von Newton's Versuch in dessen Weise oder vielmehr, wie bei den Versuchen des Duc de Chaulnes, mit Ersetzung des von Newton angewandten kleinen Loches durch das Sonnenbild im Brennpunkte einer convexen Linse. Der Versuch kann folgendermaſsen abgeändert werden. Was für eine Erscheinung sich auf einem Schirme zeigen werde, kann man ohne Schirm wahrnehmen, wenn man die Strahlen direct mit dem Auge auffängt, und sich so stellt, daſs man einen Gegenstand in der Entfernung des Schirmes deutlich sieht. Um die Ringe, welche in Newton's Versuch auf einen Schirm geworfen

1) *Philosoph. Magaz. Apr.* 1851 *p.* 336.

Digitized by Google

werden, deutlich zu sehen, ist es also hinreichend eine kleine Flamme in solcher Stellung vor einen Spiegel zu bringen, daſs sie mit ihrem umgekehrten Bilde zusammenfällt; dann sieht man in der Luft ein merkwürdig schönes Ringsystem die Flamme umgebend. Nicht der wenigst merkwürdige Umstand bei diesen Ringen ist ihre scheinbare Körperlichkeit, da sie eine bestimmte Lage im Raum zu haben scheinen, wie ein wirklicher Gegenstand. Die auffallende und schöne Erscheinung, welche Newton in seiner 10. und 11. Beobachtung so genau beschreibt, kann in dieser Weise bei einer Seitenbewegung der Flamme gesehen werden. Durch gehörige Veränderung der Lagen der Flamme und des Auges, sowohl bei diesem Versuche als bei dem mit einem ebenen Spiegel, läſst sich, unabhängig von jeder Theorie, deutlich erkennen, daſs die in beiden Fällen gesehenen Ringe oder Streifen von gleicher Natur sind. Es ist überflüssig, hier die Mannigfaltigkeit der auftretenden Erscheinungen ausführlich zu beschreiben, da sie weiterhin, in Verbindung mit der Theorie, angeführt werden.

Der erste Abschnitt enthält die Theorie der nach Newton's Weise gebildeten Ringe. Die Untersuchung, obwohl in ihrem Gange etwas verschieden, ist im Princip dieselbe wie die von Sir John Herschel gegebene, doch etwas allgemeiner, in sofern als die Krümmung der beiden Flächen als irgend welche, und der leuchtende Punkt nicht als auf der Axe liegend angenommen wird. Ueberdieſs ist der Abstand dieses Punktes von der Axe zuerst als willkührlich vorausgesetzt, um zu untersuchen, unter was für Umständen die Ringe sich auf einem Schirm am deutlichsten bilden können.

Der zweite Abschnitt enthält die Theorie der durch einen ebenen Spiegel gebildeten Streifen oder Ringe. Der Ausdruck für die Verzögerung ist als ein besonderer Fall hergeleitet aus der im ersten Abschnitt gefundenen Formel; allein wegen des an diese Streifen sich knüpfenden Interesses und wegen der Einfachheit ihrer Theorie ist auch eine abgesonderte Untersuchung gegeben.

Digitized by Google

Die beiden nächsten Abschnitte sind Fällen von gröſserer Allgemeinheit und im Ganzen geringerem Interesse gewidmet; doch enthalten sie einige interessante Resultate. Die zwei letzten Abschnitte befassen sich mit einer näheren Untersuchung der Art, wie eigentlich die Erscheinungen entstehen.

Obwohl der vorliegende Aufsatz etwas lang ist, so darf doch der Leser nicht voraussetzen, daſs die Theorie der Ringe und Streifen sehr schwierig sey. Die Länge entspringt zum Theil aus dem Detail, in welchem der Gegenstand betrachtet worden ist, zum Theil aus der Allgemeinheit einiger der Untersuchungen, zum Theil aus der Beschreibung der die theoretischen Untersuchungen begleitenden Versuche.

Abschnitt I.

Ringe, geworfen auf einen Schirm durch einen Hohlspiegel, bestehend aus einer vorn getrübten und hinten mit Amalgam belegten Linse. Bedingung zur Deutlichkeit der Ringe, wenn sie auf einen Schirm geworfen sind, oder zur Festigkeit derselben, wenn sie in Luft betrachtet werden. Untersuchung der Erscheinungen, welche bei einer gegen die Axe des Spiegels winkelrechten Bewegung des Lichtpunkts entstehen.

Es liege ein Lichtpunkt L entweder in oder nicht weit von der Axe eines Spiegels wie der eben beschriebene; und es werde verlangt, zu erforschen, wie zwei Lichtbündel, von denen das eine an der Vorderfläche zerstreut, und dann regelmäſsig zurückgeworfen und gebrochen, das andere aber erst regelmäſsig gebrochen und zurückgeworfen, und dann beim Austritt zerstreut worden, den Punkt M eines Schirms beleuchten, wenn dieser Punkt nicht weit aus der Axe liegt. Der Spiegel sey bezogen auf die drei rechtwinklichen Axen von x, y, z, von denen die Axe der z die Axe des Spiegels sey, und der Anfangspunkt liege auf der vorderen oder getrübten Fläche. Sey r der Radius der vorderen Fläche, s der der hintern, t die Dicke

des Glases, und μ der Brechungsindex desselben; r und s mögen positiv seyn, wenn die Concavitäten beider Flächen in die Richtung der positiven z gewendet sind. Seyen a, b, c die Coordinaten von L; a', b', c' die von M, und seyen a, b, so wie a, b', klein im Vergleich mit c, c', r und s. Seyen x, y, z die Coordinaten irgend eines Punktes P auf der getrübten Fläche, R die Verzögerung des in P beim Austritt zerstreuten Strahls in Bezug auf den, welcher durch denselben Punkt eintritt. Seyen L_1, L_2, L_3 die Bilder von L respective nach Refraction, Reflexion und zweiter Refraction; ebenso M_1, M_2, M_3 die Bilder von M; bezeichnen a, b, c oder a', b', c' mit den Suffixen 1, 2, 3 die Coordinaten von L_1, L_2, L_3 oder M_1, M_2, M_3. Bei Annäherung an den Werth von R seyen die Quadrate der kleinen Gröſsen a, b, x, y etc. beibehalten, so daſs die vernachlässigten Glieder zur vierten Ordnung gehören, da alle Glieder von gerader Ordnung sind, wie man sogleich sehen wird.

2. Die von L aus divergirenden Strahlen können nach der Refraction als von L_1 aus divergirend angesehen werden, ungeachtet der sphärischen Aberration der directen Lichtbündel und des Astigmatismus der schiefen. Denn liege zuvörderst L in der Axe. Die Annahme, daſs die Strahlen von L_1 aus divergiren, ist aequivalent mit der, daſs die Vorderseite einer Welle eine Kugel sey, die L_1 zum Mittelpunkt habe, wogegen sie in Wirklichkeit eine Umdrehungsfläche ist von der Art, daſs L_1 das Krümmungscentrum eines Querschnitts ist, den eine durch die Axe gelegte Ebene macht. Diese Ebene scheidet die oben erwähnte Kugel in einem Kreise, welcher, als Krümmungskreis, keinen niedrigeren Contact mit der Curve haben kann als einen zweiter Ordnung. Allein der Contact ist wirklich einer von dritter Ordnung, weil Curve und Kreis sich berühren, ohne zu schneiden. Daher ist der Fehler' welcher in der Berechnung von R aus der Annahme entspringt, daſs die Fronte der Welle eine Kugel sey, während sie in Wirklichkeit eine andere Fläche ist, nur eine

kleine Gröſse vierter Ordnung, und Gröſsen dieser Ordnung hält man für zu vernachlässigende.

Betrachten wir hierauf ein schiefes Bündel. Seyen L' und L'' die beiden Punkte der Axe des Bündels, welche die Krümmungscentra seiner Hauptschnitte sind. Haben L' und L'' von einander und von L_1 keinen kleinen Abstand, so wird die Front der Welle einen Contact erster Ordnung mit einer Kugel haben, die um L_1 mit einem solchen Radius beschrieben ist, daſs sie durch den Punkt geht, wo die Front von der Axe des Bündels geschnitten wird; und in diesem Fall wird der Fehler, den man begeht, wenn man die Kugel für die wirkliche Front nimmt, von zweiter Ordnung seyn. Allein L' und L'' liegen von L_1 in Abständen, die kleine Gröſsen zweiter Ordnung sind, und daraus erhellt leicht, daſs der wirkliche Fehler nur von vierter Ordnung ist.

3. Bezeichne (L zu L_3) die Verzögerung einer Welle, die von L nach L_3 geht, oder vielmehr, im Fall L_3 ein virtueller Brennpunkt ist, der Verzögerungs-Unterschied zweier Wellen, die von L und L_3 ausgehen und denselben gegebenen Punkt erreichen. Dann ist

$$R = (L \text{ zu } L_3) + PM - PL_3 - [(M \text{ zu } M_3) + PL - PM_3]$$
$$= K + V$$

wo

$$K = (L \text{ zu } L_3) - (M \text{ zu } M_3)$$
$$V = PM - PL_3 - (PL - PM_3)$$
$$= V' - V'', \text{ angenommen.}$$

Nach der Erklärung im vorhergehenden Artikel, bleibt, wenn P seine Lage ändert, K constant, mit dem Grade von Annäherung, welcher angewandt werden soll; allein der Werth von V hängt ab von der Lage von P. Wir haben.

$$PM = \sqrt{(a'-x)^2 + (b'-y)^2 + (c'-z)^2}$$
$$PL_3 = \sqrt{(a_3-x)^2 + (b_3-y)^2 + (c_3-z)^2}$$

und beinahe:

$$z = \frac{1}{2r}(x^2 + y^2).$$

Digitized by Google

Entwickelt, erhalten wir

$$V' = c' - \frac{1}{2r}(x^2+y^2) + \frac{1}{2c'}[(a'-x)^2+(b'-y)^2] - c_3$$
$$+ \frac{1}{2r}(x^2+y^2) - \frac{1}{2c_3}[(a_3-x)^2+(b_3-y)^2].$$

Sey $V' = c' - c_3 + V'_x + V'_y$, wo V'_x die Summe der a und x enthaltenden Glieder, und V'_y die Summe der b und y enthaltenden Glieder ist, so hat man

$$V'_x = \frac{(a'-x)^2}{2c'} - \frac{(a_3-x)^2}{2c_3}.$$

Wir brauchen nicht V'_y hinzuschreiben, da es sich aus V'_x ableitet, wenn wir b, y statt a, x setzen. Bezeichnet nun V_x für V, was V'_x für V' bezeichnet, so erhält man nach Vertauschung von a und a', a_3 und a'_3, und Subtraction:

$$V_x = \frac{(a'-x)^2}{2c'} - \frac{(a_3-x)^2}{2c_3} - \frac{(a-x)^2}{2c} + \frac{(a'_3-x)^2}{2c'_3} \quad . \ . \ (1).$$

Damit die Ringe sich mit voller Deutlichkeit auf einem Schirm bilden, ist erforderlich, daſs der Phasenunterschied der verschiedenen Bündelpaare (*pairs of streams*) die von verschiedenen Punkten der getrübten Oberfläche kommen, gleich sey, oder mit anderen Worten, daſs die Verzögerung R unabhängig von x und y sey. Abgesehen bei der gegenwärtigen Untersuchung von den Bedingungen der Deutlichkeit, kann man bemerken, daſs, wenn diese Bedingungen erfüllt sind, der Ausdruck für R derselbe seyn muſs, wie wenn x und y beide Null wären. Wir haben also:

$$R = [L, M] - [M, L]$$

wo

$$[L, M] = (L \text{ zu } L_3) + c' - c_3 + \frac{e'^2}{2c'} - \frac{e_3^2}{2c_3}$$

und $[M, L]$ aus $[L, M]$ durch Vertauschung der Coordinaten von L und M gebildet wird. Im obigen Ausdruck ist Kürze halber e^2 statt a^2+b^2 geschrieben. Nimmt man nun c, c_1, c_2, c_3 sämmtlich als positiv, und bezeichnet mit A, B die Punkte, in welchen die vordere und hintere

Digitized by Google

Fläche respective durch die Axe des Spiegels geschnitten wird, so haben wir

$$(L \text{ zu } L_3) = AL - \mu AL_1 + \mu BL_1 + \mu BL_2 - \mu AL_2 + \mu AL_3 \; \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

was entwickelt giebt:

$$(L \text{ zu } L_3) = c + \frac{e^2}{2c} - \mu c_1 - \frac{\mu e_1^2}{2c_1} + \mu(c_2+t) + \frac{\mu e_1^2}{2(c_1+t)} + \mu(c_2+t) + \frac{\mu e_2^2}{2(c_2+t)} - \mu c_2 - \frac{\mu e_2^2}{2c_2} + c_3 + \frac{e_3^2}{2c_3}$$
$$= c + c_3 + 2\mu t + \frac{e^2}{2c} + \frac{e_3^2}{2c_3} - \frac{\mu t e_1^2}{2c_1(c_1+t)} - \frac{\mu t e_2^2}{2c_2(c_2+t)}.$$

Wir haben also:

$$R = \frac{\mu t}{2}\left\{\frac{e'^2_1}{c'_1(c'_1+t)} + \frac{e'^2_2}{c'_2(c'_2+t)} - \frac{e_1^2}{c_1(c_1+t)} - \frac{e_2^2}{c_2(c_2+t)}\right\} \; . \; . \; (3).$$

Obgleich diese Formel in der Voraussetzung erhalten wurde, daſs die Punkte L, L_1, L_2, L_3, M, M_1, M_2, M_3 auf der positiven Seite der Ebene der xy liegen, so ist sie doch unabhängig von dieser Einschränkung richtig. Denn wenn einer der Brennpunkte L, L_1, L_2, L_3 aus dem reellen Zustand virtuell, oder aus dem virtuellen Zustand reell wird, ändern die Ordinaten c, c_1, c_2+t, oder c_3 das Zeichen. Zugleich wird im Ausdruck für die Verzögerung *überschrittener Abstand* in *aufgesparten* verwandelt, und so umgekehrt. Folglich wird in einem Ausdruck wie (2) das Zeichen von einer oder mehren Linien verändert. Allein in der Entwicklung der Wurzelgröſse, durch welche die Länge einer solchen Linie ausgedrückt wird, muſs zugleich das Zeichen von c, c_1, c_2+t, oder c_3 verändert werden, und deshalb ist in den entwickelten Ausdrücken keine Aenderung erforderlich.

Um e_1 und e_2 aus (3) zu eliminiren, ist zu bemerken, daſs man nahe hat:

$$\frac{e_1}{e} = \frac{1}{\mu}\frac{c_1}{c}, \quad \frac{e_2}{e_1} = -\frac{c_2+t}{c_1+t}$$

und ähnliche Ausdrücke gelten für e' etc. Folglich

Digitized by Google

$$R = \frac{e'^2 t}{2\mu c'^2} \cdot \frac{c'_1}{c'_1 + t}\left(1 + \frac{c'_1}{c'_1 + t} \cdot \frac{c'_2 + t}{c'_2}\right) - \frac{e^2 t}{2\mu c^2} \cdot \frac{c_1}{c_1 + t}\left(1 + \frac{c_1}{c_1 + t} \cdot \frac{c_2 + t}{c_2}\right) \quad \ldots (4).$$

Erforderlichenfalls könnten wir, mittelst der Formeln der gemeinen Optik, c_1 und c_2 in Gliedern von c ausdrücken, ohne für die Gröſse von t irgend eine Voraussetzung zu machen. In Praxis ist jedoch t gewöhnlich klein gegen c, c_1 u. s. w., so daſs wir den obigen Ausdruck vereinfachen können, wenn wir bloſs die erste Potenz von t beibehalten. So bekommen wir

$$R = \frac{t}{\mu}\left(\frac{e'^2}{c'^2} - \frac{e^2}{c^2}\right) = \frac{t}{\mu}\left(\frac{a'^2 + b'^2}{c'^2} - \frac{a^2 + b^2}{c^2}\right) \quad . . (5).$$

4. Ehe wir zur Anwendung dieses Ausdrucks schreiten, wollen wir die Bedingungen der Deutlichkeit aufsuchen. Bezeichnen wir mit $\Delta_x R$, $\Delta_y R$ die Zusätze zu R wegen der Glieder, die x und y einschlieſsen, so bekommen wir aus (1)

$$\left.\begin{aligned} \Delta_x R = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{c'} + \frac{1}{c'_3}\right)x^2 - \left(\frac{a'}{c'} + \frac{a'_3}{c'_3}\right)x \\ - \left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{c} + \frac{1}{c_3}\right)x^2 - \left(\frac{a}{c} + \frac{a_3}{c_3}\right)\right]x \end{aligned}\right\} \quad . . (6)$$

und $\Delta_y R$ wird durch Vertauschung von a und b, x und y erhalten.

Durch die Formeln der gemeinen Optik haben wir

$$\left.\begin{aligned} \frac{\mu}{c_1} = \frac{\mu - 1}{r} + \frac{1}{c}; \quad \frac{1}{c_2 + t} = \frac{2}{s} - \frac{1}{c_1 + t}; \\ \frac{\mu}{c_2} = \frac{\mu - 1}{r} + \frac{1}{c_3} \end{aligned}\right\} \quad . . (7)$$

woraus wir, t als klein angesehen, durch Entwicklung bis zur ersten Potenz von t, wenn Kürze halber gesetzt wird:

$$\frac{\mu}{s} - \frac{\mu - 1}{r} = \frac{1}{s} - (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s}\right) = \frac{1}{\varrho} \quad . . (8)$$

so daſs ϱ der Radius eines Spiegels (*speculum*) ist, der gleiche Brennweite wie der Spiegel (*mirror*) hat, erhalten:

$$\frac{1}{c} + \frac{1}{c_3} = \frac{2}{\varrho} + \frac{2t}{\mu}\left\{\frac{2}{\varrho^2} + \frac{2(\mu - 1)}{\varrho r} + \frac{(\mu - 1)^2}{r^2} - \frac{2}{\varrho c} + \frac{1}{c^2}\right\}$$

Digitized by Google

und deshalb.

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{c'}+\frac{1}{c'_3}-\frac{1}{c}-\frac{1}{c_3}\right)=\frac{t}{\mu}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{c'}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)\;\ldots\;(9).$$

Ferner

$$a_1=\frac{a}{\mu}\frac{c_1}{c};\quad a_2=-a_1\frac{c_2+t}{c_1+t};\quad a_3=\mu a_2\frac{c_3}{c_2}$$

woraus

$$\frac{a}{c}+\frac{a_3}{c_3}=\frac{a}{c}\left\{1-\frac{c_1(c_2+t)}{c_2(c_1+t)}\right\}=\frac{at}{c}\left(\frac{1}{c_1}-\frac{1}{c_2}\right)\text{ nahe.}$$

Vernachlässigt man t gänzlich in den Formeln (7), so kommt:

$$\frac{1}{c_1}-\frac{1}{c_2}=\frac{2}{\mu}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)$$

und deshalb

$$\frac{a'}{c'}+\frac{a'_3}{c'_3}-\frac{a}{c}-\frac{a_3}{c_3}=\frac{2t}{\mu}\left[\frac{a'}{c'}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)\right]\quad(10).$$

Sey $\Delta_{,}R+\Delta_{,}R=\Delta R$. Die Formeln (6), (9), (10) und die entsprechenden, sich auf $\Delta_{,}'R$ beziehenden Formeln geben:

$$\left.\begin{aligned}\Delta R=&\frac{t}{\mu}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{c'}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)(x^2+y^2)\\ &-\frac{2t}{\mu}\left[\frac{1}{c'}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{\varrho}\right)(a'x+by')-\frac{1}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)(ax+by)\right]\end{aligned}\right\}\quad(11).$$

Die Bedingung der Deutlichkeit ist, wie schon bemerkt worden, die, daſs ΔR verschwinde unabhängig von x und y, in welchem Fall die elementaren Ringsysteme, die den verschiedenen Elementen der getrübten Fläche entsprechen, einander auf dem Schirme überdecken. Die Coëfficienten von x^2+y^2 verschwinden, wenn einer der folgenden Gleichungen genügt ist:

$$c'=c\text{ oder }\frac{1}{c'}+\frac{1}{c}=\frac{2}{\varrho}\;\ldots\;(12).$$

Damit die Coëfficienten von x und y unabhängig von besonderen Werthen von a' und b' verschwinden können, muſs man haben

$$c'=c=\varrho\;\ldots\;(13),$$

welche Gleichungen zugleich den beiden Gleichungen (12)

Digitized by Google

genügen, von denen bloſs einer genügt zu seyn brauchte. Folglich werden die Ringe am deutlichsten gebildet, wenn beide, der Lichtpunkt und der Schirm, vom Spiegel einen Abstand haben gleich dem der coïncidirenden conjugirten Brennpunkte. Dieſs stimmt mit der Beobachtung überein [1]).

Für jegliche Lage der Zeile, wenn a', b', c', die Coordinaten seines Bildes sind, haben wir

$$\frac{a'}{c'} = -\frac{a}{c}, \quad \frac{b'}{c'} = -\frac{b}{c}$$

und die zweite Zeile in dem Ausdruck für ΔR wird:

$$\frac{2t}{\mu c}\left(\frac{1}{c'} + \frac{1}{c} - \frac{2}{\varrho}\right)(ax + by),$$

welche verschwindet, da c' der zweiten der Gleichungen (12) genügt. Wird ein Schirm winkelrecht gegen die Axe des Spiegels gehalten, in solchem Abstand, daſs er ein deutliches Bild von dem Lichtpunkt empfängt, und bezeichnen nun a', b', c', die Coordinaten, nicht des Bildes selbst, sondern eines dem Bilde sehr nahen Punkts auf dem Schirm, so wird der Theil von ΔR, welcher die Quadrate von x und y einschlieſst, noch verschwinden, in sofern c' dasselbe bleibt wie zuvor, und der Theil, welcher die ersten Potenzen enthält, obgleich nicht absolut verschwindend, wird sehr klein werden; und deshalb wird ein Stück des Ringsystems in der Nachbarschaft des Bildes deutlich gebildet seyn.

5. Dieſs stimmt mit der Beobachtung. Bei Wiederholung des Newton'schen Versuchs in dieser Weise, ausgenommen, daſs, statt des kleinen Loches, eine Linse mit kurzem Brennpunkte angewandt, und die Oberfläche des

1) Siehe Newton's *Optics, Book II, Pt. IV. Obs. I.* für den Fall, wo die Krümmungen beider Flächen gleich sind, und einen Versuch des Duc de Chaulnes (*Mém, de l'Acad.* 1755 *p.* 141) für den Fall, in welchem sie ungleich sind. Bei diesem Versuche wurde eine planconvexe Linse angewandt. Jede Fläche wurde nach einander getrübt und dem einfallenden Lichte zugekehrt. Aus einer Stelle am Ende seiner 12. Beobachtung geht hervor, daſs Newton selbst einen ähnlichen Versuch machte; die Resultate desselben sind jedoch nicht beschrieben worden.

Digitized by Google

Glases eigends mit Milch und Wasser getrübt worden war, fand ich, wenn der Spiegel in einem von seinem Krümmungsradius sehr verschiedenen Abstand vom Lichtpunkt aufgestellt und ein wenig geneigt wurde, um das Bild eines Stück Papiers aufzunehmen, ohne das einfallende Licht aufzufangen, dabei das Papier in solchem Abstande vom Spiegel gehalten, daſs es ein deutliches Bild vom Lichtpunkt empfing, — das Bild von sehr deutlichen Ringbögen begleitet.

Welche Erscheinungen sich auf einem Schirme zeigen werden, kann man ohne Schirm sehen, wenn man das Auge so aufstellt, daſs es die Strahlen auffängt und einen Gegenstand in der Entfernung des Schirms bei dessen früherer Lage deutlich sehen würde. Allgemein findet man, daſs das Bild des Lichtpunkts, wenn es deutlich gesehen wird, begleitet ist von einem mehr oder weniger ausgedehnten Stücke eines Systems von farbigen Ringen oder Streifen. In dieser Weise kann man die Ringe sehen, wenn das Bild virtuell ist, in welchem Fall sie natürlich nicht auf einem Schirm geworfen werden können.

Bei dem in der Einleitung beschriebenen Versuch, wobei eine kleine Flamme in solchem Abstande aufgestellt wird, daſs sie mit ihrem umgekehrten Bilde zusammenfällt, sind, bei directer Betrachtung derselben, die gesehenen Ringe merkwürdig wegen ihrer Festigkeit; sie erscheinen als ein körperlicher Gegenstand rings um die Flamme und haben eine bestimmte Parallaxe, sowohl nach der Bewegung des Kopfes, als auch der Convergenz der Axen beider Augen geurtheilt. Dasselbe gilt von dem Ringsystem, welches sich bildet, wenn die Flamme seitwärts aus der eben erwähnten Lage bewegt wird. Der Grund der Festigkeit ist, daſs, sofern die Verzögerung unabhängig ist von x und y, ein gegebener Punkt einer eingebildeten, durch die Flamme, winkelrecht gegen die Axe gelegten Ebene zu einem Ringe einer und derselben Ordnung gehört, was auch der Punkt des Spiegels seyn möge, gegen welchen er projicirt gesehen wird.

6.

Digitized by Google

6. Haben wir nun die Bedingungen der Deutlichkeit erforscht, wollen wir zur Betrachtung der Gröſse und des Charakters der Ringe übergehen, dabei annehmend, der Lichtpunkt liege im Abstand ϱ vom Spiegel, und die Ringe seyen in demselben Abstand auf einen Schirm geworfen, oder auch in der Luft betrachtet. In diesem Falle ist $c=c'=\varrho$ und, wenn der Lichtpunkt in der Axe liegt, $e=0$, wodurch (5) sich reducirt auf

$$R=\frac{te'^2}{\mu c^2} \quad . \; . \; . \; (14).$$

Aus diesem Ausdruck folgt leicht, daſs sich ein Ringsystem bildet ähnlich den durchgelassenen Ringen desjenigen Systems, welchem speciell der Name Newton's untergelegt wird. Im gegenwärtigen Falle sind jedoch die Ringe, besonders wenn sie in Luft betrachtet werden, weit glänzender und in dieser Beziehung mehr dem reflectirten Systeme ähnlich. Ist e_1 der Radius des ersten hellen Ringes, für welchen $R=\lambda$, der Länge einer Lichtwelle, so ist

$$e_1=\sqrt{\frac{\mu\lambda}{t}}\,.\,c$$

und für den hellen Ring der n' Ordnung $e'=\sqrt{n}.e_1$. Die Formel (14) ist schon von Sir John Herschel discutirt und mit Newton's Messungen verglichen, an welche sie sich auch sehr nahe anschlieſst.

Mit weiſsem Lichte sieht man nur eine mäſsige Anzahl von Ringen, weil die Variation der Scale des Systems abhängt von einer Variation in der Brechbarkeit der Bestandtheile des weiſsen Lichts. Als die Ringe in der Luft gebildet wurden und die Lichtquelle die Flamme einer Oellampe mit kleinem Docht war, zählte ich deren ringsum einen hellen centralen Fleck sieben bis acht. Betrachtet man aber das System durch ein Prisma oder wendet man die Flamme einer Weingeistlampe an, so erblickt man eine unermeſsliche Zahl von Ringen.

7. Gesetzt nun, der Lichtpunkt liege auſserhalb der Axe. Aus der Formel (5) ersehen wir, daſs die Verzögerung jetzt Null ist, nicht in der Axe, sondern auf einem

Digitized by Google

Kreise, dessen Radius e' gleich e ist. Folglich ist die *achromatische Linie* [1]) des Systems, welche früher auf einen Punkt reducirt war, jetzt ein Kreis, der seinen Mittelpunkt in der Axe hat, und durch den Lichtpunkt und dessen Bild geht, welche auf entgegengesetzten Enden eines Durchmessers liegen. Die Fransen erster Ordnung bilden *ein Paar* Kreise, die ihren Mittelpunkt in der Axe haben, und von denen der eine inseits, und der andere ausseits der centralen Franse liegt. Die Fransen zweiter Ordnung bilden wiederum ein Paar Kreise, von denen der eine ausseits der gröſseren, und der andere inseits der kleineren Franse erster Ordnung liegt, und so fort. Es ist jedoch zu bemerken, daſs inseits der centralen weiſsen Franse nur eine *begränzte* Zahl von Fransen gebildet wird. Bezeichnet man den Werth von R, für $e'=0$, durch $-n_0\lambda$, so wird n_0 eine *numerische* Gröſse, eine Function von λ, welche die Anzahl der zum Lichte von der Wellenlänge λ gehörigen und inseits der centralen weiſsen Franse gebildeten Fransen *und* deren Bruchtheile bestimmt. Den Werth von n_0 erhält man aus der Gleichung (5), wenn man $e'=0$ setzt, was giebt:

$$n_0=\frac{te^2}{\mu\lambda c^2}.$$

Wird weiſses Licht gebraucht und übersteigt n_0 etwa die Zahl 8 für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, so sind alle Fransen, welche das Uebergreifen der verschiedenen Farben zu sehen erlaubt, sowohl inseits als ausseits der centralen weiſsen Franse gebildet; und wenn der Lichtpunkt noch weiter von der Axe abgerückt wird, erscheint ein Theil des Gesichtsfeldes rings um die Axe frei von Ringen. Bezeichnet man den Radius der centralen weiſsen Franse oder, was dasselbe ist, den Abstand des Lichtspunkts von der Axe mit $\sqrt{n_0}$, so werden die Radien der hellen Ringe erster, zweiter, ... Ordnung, nach derselben Scale, bezeichnet mit $\sqrt{n_0\pm 1}$, $\sqrt{n_0\pm 2}$, u. s. w., und die der dunklen Ringe mit $\sqrt{n_0\pm\frac{1}{2}}$, $\sqrt{n_0\pm\frac{3}{2}}$, u. s. w.

1) Ich gebrauche diesen Ausdruck, um den Ort der Punkte zu bezeichnen, für welche die Verzögerung Null ist; er bildet eine Curve, auf deren beiden Seiten die Farben in abnehmender Ordnung auf einander folgen.

Digitized by Google

Die Art, in welcher die Ringe sich, vom Centrum aus, öffnen, so wie der Lichtpunkt seitwärts aus der Axe gerückt wird, ist sehr auffallend, und von Newton genau beschrieben. Die Erklärung davon ist einleuchtend. Es mag bemerkt seyn, dafs das Ringsystem, betrachtet als unbegränzt, nach gleicher Scale gebildet ist, was für einen Abstand von der Axe der Lichtpunkt auch haben mag, dafs aber die Portion des unbegränzten Systems, welche wegen voller oder angenäherter Coïncidenz der den verschiedenen Farben entsprechenden Maxima und Minima von Intensität allein sichtbar ist, ganz von diesem Abstande abhängt. Da beim Uebergange von der inneren zur äufseren Gränze einer gegebenen Franse das Quadrat des Radius einen gegebenen Anwuchs erfährt, so folgt, dafs das Areal der Franse constant ist, d. h. unabhängig von dem senkrechten Abstand des Lichtpunkts von der Axe. Folglich nimmt die Breite der Franse beständig ab, so wie der Durchmesser des Kreises, der die Gränze bildet, zunimmt. Gebraucht man als Lichtquelle eine kleine Flamme und rückt sie seitwärts aus der Axe, so werden die Fransen bald verwaschen, weil eine Flamme wohl sehr gut ist, um die nahe der Axe gesehenen breiten Fransen von verhältnifsmäfsig kleinem Radius zu bilden, sich aber nicht eignet für die feinen Fransen von grofsem Radius, welche in einiger Entfernung von der Axe enstehen. Als ich aber das im Brennpunkt eines kleinen zu einem mikroskopischen Apparat gehörigen, Hohlspiegels entstandene Sonnenbild als Lichtquelle anwandte, fand ich, dafs die Ringe ganz deutlich gebildet wurden, selbst wenn ihre Durchmesser sehr grofs, und folglich ihre Breiten sehr klein waren.

Abschnitt II.

Streifen, gebildet durch einen ebenen Spiegel und direct mit dem Auge betrachtet.

8. Für einen Planspiegel ist $\varrho = \infty$, und wenn R die Verzögerung des beim Austritt zerstreuten Bündels gegen den beim Eintritt zerstreuten ist, wird R durch Addition der

Digitized by Google

zweiten Glieder der Gleichungen (5) und (**11**) erhalten. Wir haben also:

$$R=\frac{t}{\mu}\left[\frac{1}{c'^2}\left\{(x-a')^2+(y-b')^2\right\}-\frac{1}{c^2}\left\{(x-a)^2+(y-b)^2\right\}\right] \quad (15).$$

Man muſs sich erinnern, daſs in diesen Formeln a, b, c die Coordinaten des Lichtpunkts bezeichnen, x, y die eines Punkts der getrübten Fläche, a', b', c' die eines Punktes im Raume, auf welchen das Auge gerichtet ist, so ajustirt, daſs es ihn deutlich sieht; daſs ferner diese Formel nur eine angenäherte ist und die Annäherung abhängt, sowohl von der Kleinheit der Schiefe, als auch von der Kleinheit der Dicke t des Glases, verglichen mit dem Abstande des Lichtpunkts und des Punkts M vom Spiegel.

Betreffend die Beleuchtung an einem gegebenen Punkt M, so geht uns offenbar von der getrübten Fläche nur so viel an als innerhalb eines Kegels liegt, der M zum Scheitel und die Pupille des Auges zur Grundfläche hat; und die Streifen werden deutlich sichtbar seyn, sobald R sich nur um einen kleinen Bruchtheil von λ ändert, wenn x, y von einem Punkt zu einem anderen der innerhalb jenes Kegels liegenden Portion der getrübten Fläche übergehen. Nun haben wir bereits gefunden, daſs die Streifen allemal in der Nähe des Bildes deutlich gesehen werden, wenn das Bild selbst deutlich sichtbar ist, so daſs, wenn das Bild reell ist, die Streifen sogar auf einen Schirm geworfen werden können, in welchem Falle eine verhältniſsmäſsig groſse Portion der getrübten Fläche an deren Bildung betheiligt ist. Daraus können wir im gegenwärtigen Falle schlieſsen, daſs die Streifen durchweg mit hinlänglicher Deutlichkeit gesehen werden können, sobald der Lichtpunkt selbst deutlich sichtbar ist.

9. In Betreff der Deutlichkeit oder Undeutlichkeit der Streifen haben wir es mit der begränzten Gröſse der Pupille zu thun; untersuchen wir aber bloſs ihre Form und Gröſse, so können wir die Pupille als einen Punkt und jedes in dieselbe eintretende Bündel als einen einfachen die Axe bildenden Strahl betrachten. Sey E das Auge

Digitized by Google

oder vielmehr das Centrum der Pupille, h sein senkrechter Abstand vom Spiegel und gehe die Axe der z durch E. Der Strahl, durch welchen ein Stück eines Streifens als in M befindlich gesehen wird, schneidet den Spiegel in einem Punkt, dessen Coordinaten x, y gleich sind a', b', verändert im Verhältniſs h zu $h-c'$, so daſs

$$a'=\left(1-\frac{c'}{h}\right)x, \quad b'=\left(1-\frac{c'}{h}\right)y$$

Dieſs in (15) substituirend, erhalten wir:

$$R=\frac{t}{\mu}\left[\frac{1}{h^2}(x^2+y^2)-\frac{1}{c^2}\left\{(x-a)^2+(y-b)^2\right\}\right] \quad (16),$$

woraus erhellt, daſs c' verschwunden ist, wie es offenbar seyn muſs. Der Ausdruck (16) hätte auf einmal aus (15) abgeleitet werden können, wenn man die Coordinaten des Auges statt a', b', c' setzte. Der Grund hiervon ist klar, weil die Verzögerung constant ist für denselben Strahl, und ein Strahl durch die Lage irgend zweier Punkte, die er durchneidet, definirt werden kann. Wir können daher zur Definition des Strahls die Punkte E und P statt M und P anwenden, und zugleich die Coordinaten von E statt der von M in dem Ausdruck für die Verzögerung substituiren.

10. Um die Gestalten u. s. w. der Streifen zu bestimmen, ist nichts weiter nöthig, als die Formel (16) zu discutiren. Da diese Formel indeſs als besonderer Fall aus einer sehr allgemeinen und deshalb etwas complicirten Untersuchung erhalten ward, bei welchen die Krümmungen der Flächen als irgend welche vorausgesetzt wurden, auch diese Streifen ein groſses Interesse haben, so wird der Leser eine specielle Untersuchung der Formel für den Fall eines Planspiegels nicht ungern sehen.

Behalten wir die frühere Bezeichnung bei, wo nicht das Gegentheil gesagt wird. Seyen L_0, E_0 die Fuſspunkte der Perpendikel, gefällt von L, E auf die Ebene der getrübten Fläche, und sey $L_0P=s$, $E_0P=u$. Bezeichne R_1 die Verzögerung eines regulär gebrochenen und reflectirten Strahls, der beim Austritt in P zerstreut wird und

Digitized by Google

so E erreicht; R_2 die Verzögerung eines Strahls, der E erreicht, nachdem er in P beim Eintritt in das Glas zerstreut worden; und sey $R_1 - R_2 = R$. Sey $LSTPE$ die Bahn des ersten Strahls, welcher von L ausgeht, in S regelmäſsig gebrochen, in T zurückgeworfen und beim Austritt in P zerstreut wird. Die Linien LS, ST, TP werden offenbar in der Ebene LL_0P liegen. Seyen φ, φ' die Winkel des Einfalls und der Refraction bei S. Dann haben wir

$$R_1 = LS + 2\mu ST + PE$$
$$= c\sec\varphi + 2\mu t \sec\varphi' + \sqrt{h^2 + u^2} \quad . \; . \; . \; (17)$$

und

$$c\tang\varphi + 2t\tang\varphi' = s, \quad \sin\varphi = \mu\sin\varphi' \quad (18).$$

Die Schiefe als klein vorausgesetzt, brauchen wir bei der Entwicklung nur die Quadrate der kleinen Gröſsen beizubehalten, so daſs die vernachlässigten Glieder nur vierte und höhere Potenzen einschlieſsen. So erhalten wir zunächst aus (17)

$$R_1 = c + 2\mu t + h + \tfrac{1}{2}\left(c\varphi^2 + 2\mu t\varphi'^2 + \frac{u^2}{h}\right) \quad (19).$$

Allein die Gleichungen (18) geben:

$$\varphi = \mu\varphi' = \frac{\mu s}{\mu c + 2t}$$

und dieſs in (19) substituirend, erhalten wir:

$$R_1 = c + 2\mu t + h + \frac{\mu s^2}{2(\mu c + 2t)} + \frac{u^2}{2h}.$$

Um R_2 zu erhalten, reicht es hin, c und h, s und u zu vertauschen, weil, wenn wir die Bahn des Strahls als umgekehrt annehmen, derselbe von E ausgehen, regelmäſsig gebrochen und zurückgeworfen, dann beim Austritte in P zerstreut und so in L ankommen würde. Durch Vertauschen, Subtrahiren und Reduciren erhalten wir:

$$R = t\left[\frac{u^2}{h(\mu h + 2t)} - \frac{s^2}{c(\mu c + 2t)}\right] \quad . \; . \; . \; (20).$$

Diese Formel ist allgemeiner als (16), weil noch keine Annäherung rücksichtlich der Gröſse t gemacht ist. In Praxis ist jedoch t wirklich klein, verglichen mit c und h

Digitized by Google

so daſs wir die Formel vereinfachen können, wenn wir nur die erste Potenz von t beibehalten, was (20) auf (16) reducirt, in sofern

$$u^2 = x^2 + y^2 \text{ und } s^2 = (x-a)^2 + (y-b)^2$$

11. Schreiten wir jetzt zur Anwendung der Formel (16) auf die Erklärung der Phänomene. Bei Erörterung dieser Formel hat man sich zu erinnern, daſs x, y die Coordinaten des Punktes am Spiegel sind, auf welchen man eine Franse projicirt sieht. Da die Richtung der Axe der y beliebig ist, so können wir die Ebene der y, z durch den Lichtpunkt legen, wo dann $b=0$ wird und:

$$R = \frac{t}{\mu}\left[\left(\frac{1}{h^2} - \frac{1}{c^2}\right)(x^2+y^2) + \frac{2ax}{c^2} - \frac{a^2}{c^2}\right] \quad (21).$$

Für eine gegebene Franse ist R constant. Folglich bilden die Fransen ein System von concentrischen Kreisen, dessen Mittelpunkt in der Axe der x liegt. Ist α die Abscisse des Centrums, so hat man:

$$\alpha = \frac{ah^2}{h^2-c^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{ah}{h+c} + \frac{ah}{h-c}\right) \;.\;. \quad (22).$$

Nun sind $ah(h-c)^{-1}$ und $ah(h+c)^{-1}$ die Abscissen der Punkte, in welchen die Spiegelebene geschnitten wird von zwei Linien, gezogen durch das Auge, die eine zu dem Lichtpunkt, und die andere zu seinem Bilde. Wir haben also folgende Construction: Man verbinde das Auge mit dem Lichtpunkt und dessen Bilde, und verlängere die erstere Linie bis zum Spiegel. Der Mittelpunkt der Verbindungslinie der beiden Punkte, in welchen der Spiegel durch die beiden vom Auge gezogenen Linien geschnitten wird, ist das Centrum des Systems.

Liegt also der Lichtpunkt rechts von dem aus dem Auge auf die Spiegelebene gefällten Perpendikel und zwischen dem Spiegel und dem Auge, so wird die Concavität der Fransen nach der Rechten gewandt seyn. Wird der Lichtpunkt, obwohl noch auf der Rechten bleibend, zurückgeschoben, so daſs er neben das Auge, und zuletzt hinter dasselbe zu liegen kommt, so wird die Krümmung der Fransen erstlich abnehmen, dann in Geradheit übergehen,

Digitized by Google

nun in entgegengesetzter Richtung wachsen, so daſs jetzt die Convexität nach der Rechten gewandt ist. Dieſs stimmt mit der Beobachtung.

12. Der Ausdruck für R zeigt, daſs der Kreis, welcher die achromatische Linie des Systems bildet, durch die beiden, im vorletzten Paragraph erwähnten Punkte geht. Dieſs erweist sich im Versuch, so weit es das Bild betrifft, immer als richtig, und, in Bezug auf den Lichtpunkt, auch, so lange er vor dem Auge liegt, so daſs er längs mit den Fransen gesehen wird, vorausgesetzt die Fransen reichen so weit.

Bezeichnet man mit $n_0 \lambda$ den Werth von R im Centrum des Kreissystems, positiv genommen, so erhalten wir aus (21) und (22)

$$n_0 = \frac{a^2 t}{\mu \lambda (h^2 - c^2)} \quad . \; . \; . \; (23).$$

Die numerische Gröſse n_0 kann zweckmäſsig die *Central-Ordnerinn* heiſsen, weil, wenn sie zwischen $i - \frac{1}{2}$ und $i + \frac{1}{2}$ liegt, wo i irgend eine ganze Zahl ist, die Farbe des Centrums zum hellen Ringe i^{ter} Klasse gehört. Ist v der Radius der centralen Franse, so wird v gleich seyn der halben Differenz der Gröſsen $ah(h+c)^{-1}$ und $ah(a-c)^{-1}$ woraus

$$v = \frac{ach}{h^2 - c^2} \quad . \; . \; . \; (24).$$

Nachdem das Centrum des Ringsystems und die Projection des Bildes d. h. der Punkt, wo die das Auge und das Bild verbindende Linie den Spiegel schneidet, gefunden worden, beschreibe man einen Kreis, der durch diese Projection geht. Dieser wird die Centrallinie der hellen Franse 0ter Ordnung, und ihr Radius gleich v seyn. Nun beschreibe man ein Paar Kreise, deren Radien sich zu v verhalten wie $\sqrt{n_0 \pm 1}$ zu $\sqrt{n_0}$. Dieſs sind die Centrallinien der beiden hellen Fransen erster Ordnung für die besondere Farbe, auf welche sich der angenommene Werth von λ bezieht. Die Centrallinie der beiden hellen Fransen zweiter Ordnung werden ein Paar Kreise seyn mit Radien pro-

portional zu $\sqrt{n_0 \pm 2}$, und so fort. Die Fransen werden breiter an der concaven, als an der convexen Seite der centralen weiſsen Franse seyn. Wenn die Fransen gerade werden, wird n_0 unendlich, und das System wird in Bezug auf die centrale Franse symmetrisch. Dieſs stimmt mit der Beobachtung.

13. Liegt der Lichtpunkt auf einer Linie gezogen durch das Auge senkrecht zu dem Spiegel, so ist $a=0$, und man hat einfach:

$$R=\frac{(c^2-h^2)t}{\mu c^2 h^2}(x^2+y^2).$$

In diesem Fall ist die achromatische Linie des Systems auf einen Punkt reducirt und die Ringe sind in jeder Hinsicht dem durchgelassenen Ringsysteme Newton's ähnlich. Für den hellen Ring der ersten Ordnung ist $R=\pm\lambda$ und deshalb der Radius des Ringes gleich

$$\frac{ch\sqrt{\mu\lambda}}{\sqrt{(c^2-h^2)t}}$$

was unendlich wird, wenn $c=h$. Wenn folglich der Lichtpunkt erst vor dem Auge liegt, und nun angenommen wird, er bewege sich rückwärts durch das Auge bis er hinter demselben liege, so werden die Ringe sich bis ins Unendliche ausdehnen, verschwinden und wieder erscheinen, wenn der Lichtpunkt durch das Auge gegangen ist.

14. Alle obigen Schlüsse stimmen vollkommen mit der Erfahrung, wenigstens qualitativ, denn Messungen habe ich nicht gemacht. Den Wechsel in der Richtung der Krümmung, welchen ich erst gesehen, nachdem er durch die Formel aufgefunden worden, kann man leicht wahrnehmen, wenn man eine Kerzenflamme als Lichtquelle anwendet, sie ungefähr in Armslänge vor dem Auge hält, doch etwas rechts, sie nun zur Seite des Auges zurückzieht und endlich in Armslänge hinter dem Kopfe hält, und zwar so nahe in einer durch das Auge senkrecht auf den Spiegel gezogenen Linie, als es der Schatten des Kopfes erlauben will.

Digitized by Google

Wird die Kerze dem Auge nahe gehalten, so kann nur ein Theil der Kreise gesehen werden; in der That sind die Kreise auf Kreisbögen reducirt, und diese Bögen können sogar ganz gerade werden. Allein wenn die Kerze in guter Entfernung vom Auge ist, z. B. auf halbem Wege zwischen dem Auge und Spiegel; und man hält ein kleines Kartenstück als Schirm vor die Kerze, um den Schein des directen Lichts fortzunehmen, so werden die Kreise, oder wenigstens mehre von ihnen, vollständig sichtbar, ausgenommen, daſs es der Einbildung überlassen bleiben muſs, das von dem Schirm verdeckte Stück zu ergänzen. Auf diese Art läſst sich auch die Weise beobachten, in welcher sich die Ringe von dem Mittelpunkte der Kreise aus öffnen, obwohl nicht beim ersten oder zweiten Ring, weil diese sich öffnen, während das Centrum durch den Schirm verdeckt ist. Statt einer Kerze mit einem Schirm ist es besser das Sonnenbild im Brennpunkt eines kleinen convexen oder concaven Spiegels anzuwenden.

15. Der aus der Theorie abgeleitete Schluſs, dessen im §. 13 erwähnt wurde, kann natürlich nicht direct mit dem Versuch verglichen werden. Allein der Versuch kann mit Erfolg angestellt werden, wenn man entweder den Lichtpunkt oder das Auge durch ein virtuelles Bild ersetzt. Ich benutzte als Lichtpunkt das Sonnenbild im Brennpunkte eines kleinen Hohlspiegels im Abstande von einigen Fuſsen vor einem Planspiegel, dessen Oberfläche mit Milch und Wasser zubereitet worden, und stellte zwischen den Spiegeln ein Stück Tafelglas auf, geneigt unter einem Winkel von etwa 45°. Der gröſsere Theil des vom Sonnenbilde kommenden Lichtes wurde vom Tafelglase durchgelassen, und bei seiner Rückkehr von dem groſsen Spiegel wurde eine Portion dieses Lichtes seitwärts reflectirt, so daſs die Ringe durch Reflexion auf der Glasplatte gesehen werden konnten, ohne das einfallende Licht abzuhalten. Das hiedurch gesehene Ringsystem war sehr schön; es kam kein directer Lichtschein in das Auge, und dennoch ver-

Digitized by Google

deckte kein Schirm irgend einen Theil des Systems. Es war leicht zu erkennen, wann das Bild des Auges auf der geneigten Platte in einer durch den Lichtpunkt winkelrecht auf den Planspiegel gezogenen Linie lag, indem man beobachtete, wann das durch Reflexion, erst an dem Planspiegel, dann an der Glasplatte, gesehene Bild des Lichtpunkts im Centrum des Ringsystems lag. Als bei dieser Lage des Bildes der Kopf seitwärts bewegt wurde, konnte die Erweiterung (*opening out*) der Ringe von ihrem ersten Anfang beobachtet werden. Bewegte man den Kopf zurück, dabei das Bild des Lichtpunkts im Centrum des Ringsystems haltend, so war es leicht den in §. 13 erwähnten Versuch anzustellen, indem solchergestalt das virtuelle Bild des Auges in einer durch den Lichtpunkt winkelrecht zu dem Spiegel gezogenen Linie gehalten war, und das Auge sich relativ zu dem Lichtpunkte bewegte, was so gut ist, wie wenn der Lichtpunkt sich bewegt, und das Auge stillgestanden hätte. In der That fand ich, daſs beim Zurückbewegen des Kopfes die Ringe sich ausdehnten bis der helle centrale Fleck, welcher das Bild umgab, das ganze Gesichtsfeld erfüllte, und bei Fortsetzung dieses Zurückbewegens des Kopfs kamen die Ringe wieder zum Vorschein. Bei der Lage, bei welcher der centrale Fleck das ganze Gesichtsfeld erfüllte, war die kleinste Seitenbewegung des Auges hinreichend, Stücke von ungemein breiten Farbenringen in das Feld zu bringen.

Zwischen den Ringsystemen, welche gesehen wurden, wenn das Auge einen geringeren oder gröſseren Abstand vom Spiegel hatte als denjenigen, bei welchem die Ringe unendlich werden, gab es einen Unterschied, dessen hier erwähnt seyn mag. So lange das Bild den Mittelpunkt des Systems einnahm, waren sie einander ähnlich; als aber der Kopf seitwärts bewegt wurde, ging das Centrum der Ringe im ersten Fall nach der Seite des Bildes, nach welcher der Kopf bewegt wurde, im zweiten Fall nach der entgegengesetzten Seite. Dieſs liefert einen andern Weg, Erfahrung und Theorie

in Bezug auf die Richtung der Krümmung mit einander zu vergleichen; und leicht ersichtlich ist, daſs das Resultat des Versuchs mit der Voraussage der Theorie übereinstimmt. Gesetzt nämlich der Abstand des Auges von der schiefen Platte sey geringer als der des Lichtpunkts, so das virtuelle Bild des Auges zwischen dem Lichtpunkt und dem Spiegel liege, und möge das Auge sich nach der Rechten bewegen. Dann bewegt sich sein virtuelles Bild nach der Linken, und deshalb muſs, gemäſs der Theorie, das Centrum der Krümmung links vom Bilde des Lichtpunkts fallen; rechts und links hier gemeint in Bezug auf ein Auge, welches die Lage des virtuellen Bildes des wirklichen Auges einnehme. Allein wegen der Reflexion an der Glasplatte findet hier eine Umkehrung von Rechts in Links statt, und deshalb fällt für das Auge in seiner wirklichen Lage das Centrum der Krümmung rechts vom Bilde des Lichtpunkts, was mit der Beobachtung übereinstimmt. Der in diesem Artikel beschriebene Versuch läſst sich ganz wohl mit einer Kerzenflamme anstellen; will man aber untersuchen, was aus den Ringen bei ihrer Erweiterung werde, so ist es besser Sonnenlicht anzuwenden.

16. Bei Beschreibung des Verschwindens der Ringe sagte ich, daſs der centrale Fleck sich ausdehne bis daſs er das ganze Gesichtsfeld erfülle. In Wahrheit blieb, nach der Ausbreitung der Ringe, ein schwach leuchtender Centralfleck von begränzter Gröſse sichtbar, umgeben erst von einem dunklen Ring und dann von einem hellen. Es würde richtiger gewesen seyn, von dem *dunklen* Ring als schwach zu sprechen, weil diese Ringe bloſs aus schwachen Abwechslungen der Intensität in einem im Ganzen hellen Felde bestanden. Diese Ringe hatten indeſs offenbar nichts zu schaffen mit den früheren Ringen, die verschwanden; denn sie behielten das Bild des Lichtpunkts zu ihrem Centrum, wenn der Kopf seitwärts bewegt wurde. Sie sind unzweifelhaft von derselben Natur wie die, welche man erblickt, wenn man einen Lichtpunkt oder eine Kerzen-

Digitized by Google

flamme durch ein mit Lycopodium bestreutes Glas betrachtet; und sie entstehen aus der Interferenz zweier Lichtbündel, die an gegenüberliegenden Seiten der eingetrockneten Milchkügelchen vorbeigehen. Ich erwähne dieser Ringe nur, damit nicht Jemand, der diese Versuche wiederhole, sie für Etwas nehme, was mit den Farben dicker Platten zusammenhange.

17. Die Formel (21) bestimmt die Breite der verschiedenen Ringe, die ungleich ist, ausgenommen in dem Fall, daſs Auge und Lichtpunkt gleichen Abstand vom Spiegel haben. Es wird indeſs zweckmäſsig seyn, eine einfache Formel aufzusuchen, die ausdrücke, was man als mittlere Breite betrachten könne. Sey mittlere Breite diejenige Breite, welche eine Franse haben würde, wenn die Veränderung der Ordnung einer Franse zur Veränderung der Lage, in Richtung senkrecht auf der Länge einer Franse, ein constantes Verhältniſs hätte, und dieses gleich wäre dem Verhältniſs in der Nachbarschaft der Projection des Bildes. Diese mittlere Breite sey β.

Man setze in (21) $y=0$, differentiire in der Voraussetzung, daſs R und x zusammen variiren, und schreibe, nach der Differentiation, $ah(h+c)^{-1}$ für x; so findet man:

$$dR=\frac{2ta}{\mu ch}dx,$$

und weil, der Definition von β zufolge, $\lambda^{-1}dR=\beta^{-1}dx$ ist, hat man:

$$\beta=\frac{\mu ch\lambda}{2ta}\ \ldots\ (25).$$

Wenn $c=h$, werden die Streifen gerade und von gleichförmiger Breite, nämlich von der Breite β; und wenn die Streifen nicht sehr gekrümmt sind, kann β noch als ein bequemes Maaſs der Scale des Systems angesehen werden; doch ist nicht gemeint, die Formel (25) auf Fälle anzuwenden, wo die Projection des Bildes des Lichtpunktes nahe auf das Centrum der Kreise falle.

Digitized by Google

Abschnitt III.

Ringe, gebildet durch einen krummen Spiegel und direct mit dem Auge betrachtet, dabei der Lichtpunkt und sein Bild nicht in derselben, auf der Axe winkelrechten Ebene.

Die Ringe und Streifen, welche in den beiden vorhergehenden Abschnitten betrachtet wurden, können als die beiden äuſsersten Fälle des allgemeinen Systems angesehen werden. Im ersten Falle scheinen die Ringe eine bestimmte Lage im Raume zu haben, im zweiten hängt Alles von der Lage des Auges ab. Dieſs sind die Fälle vom meisten Interesse, allein das allgemeine System besitzt einige Eigenschaften, die Beachtung verdienen.

Um die Ringe auf einen Schirm zu werfen, ist erforderlich, daſs die Verzögerung des einen interferirenden Bündels gegen das andere beinahe constant sey für das Ganze der getrübten Fläche oder wenigstens für einen groſsen Theil derselben. Allein, wenn man die Ringe direct mit dem Auge betrachtet, hat man es, bei Beschauung eines gegebenen Punktes eines Ringes, mit einem so kleinen Theil der getrübten Fläche zu thun, daſs man die Ringe sehr gut sehen kann in Fällen, in welchen sie nicht auf einen Schirm geworfen werden können. Ueberdieſs haben wir gesehen, daſs selbst unabhängig von der kleinen Gröſse der Pupille, ein Stück des Systems wenigstens deutlich gesehen wird, wenn man das Bild des Lichtpunkts deutlich sieht. Vernachlässigen wir auſserdem die Bedingungen der Deutlichkeit zu betrachten, nehmen wir das Auge für einen Punkt, und untersuchen die Gestalt und den Charakter der Ringe.

19. Seyen f, g, h die Coordinaten des Auges. Um die Verzögerung zu finden, wird es hinreichen, wie im §. 9. f, g, h für a', b', c', zu schreiben, und durch x und y die Coordinaten desjenigen Punktes am Spiegel zu bezeichnen, auf welchen ein gegebener Punkt eines Ringes projicirt gesehen wird. Die ganze Verzögerung ist die Summe der Ausdrücke in (5) und (11), und macht man die obige Substitution, so hat man:

Digitized by Google

$$R=\frac{t}{\mu}\left(\frac{f^2+g^2}{h^2}-\frac{a^2+b^2}{c^2}\right)+\frac{t}{\mu}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)(x^2+y^2)$$
$$-\frac{2t}{\mu}\left[\frac{1}{h}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)(fx+gy)-\frac{1}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)(ax+by)\right] \quad (26).$$

Folglich sind die Streifen noch ein System von concentrischen Ringen. Sind X, Y, die Coordinaten des Centrums des Systems, so ist:

$$X=\frac{\frac{f}{h}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)}{\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)} \quad \ldots (27)$$

wornach Y, der Symmetrie nach, hingeschrieben werden kann.

Die Gleichungen einer das Auge und den Lichtpunkt verbindenden Linie sind

$$\frac{\xi-a}{f-a}=\frac{\eta-b}{g-b}=\frac{\zeta-c}{h-c}.$$

Am Punkt, in welchem diese Linie den Spiegel schneidet, ist $\zeta=0$ oder wenigstens sehr klein und zu vernachlässigen. Folglich haben wir

$$\xi=\frac{\frac{a}{c}-\frac{f}{h}}{\frac{1}{c}-\frac{1}{h}} \quad \ldots (28)$$

woraus η hingeschrieben werden kann, wenn es erfordert wird. Bezeichnen ξ_1 und η_1 die Coordinaten des Punkts, in welchen die das Auge und das Bild verbindende Linie den Spiegel trifft; ξ_1 und η_1 können aus ξ und η erhalten, wenn man a_1, b_1, c_1 statt a, b, c schreibt wo a_1, b_1, c_1 die Coordinaten des Bildes bezeichnen.

Erwägt man, daſs

$$\frac{a_1}{c_1}=-\frac{a}{c}, \quad \frac{1}{c_1}=\frac{2}{\varrho}-\frac{1}{c},$$

so findet man:

$$\xi_1=\frac{\frac{a}{c}+\frac{f}{h}}{\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}} \quad \ldots (29).$$

Digitized by Google

Die Formeln (27), (28) und (29) zeigen, daſs X gleich ist der halben Summe von ξ und ξ_1, und aus demselben Grunde ist Y gleich der halben Summe von η und η_1. Die im §. 11 für den Fall eines Planspiegels gegebene Construction zu Auffindung des Centrums des Systems gilt also auch für einen krummen Spiegel, selbst wenn die Krümmungen beider Flächen verschieden sind. Da die Verzögerung für das Bild selbst verschwindet, so folgt, daſs die achromatische Linie ein Kreis ist, der die beiden eben erwähnten Durchschnittspunkte zu entgegengesetzten Enden eines Durchmessers hat.

20. Aus den Ausdrücken für X und Y, oder aus der geometrischen Construction, zu welcher sie führen, folgt, daſs, wenn das Auge nicht in der den Lichtpunkt mit seinem Bilde verbindenden Linie liegt und es eine der beiden auf der Axe senkrechten Ebenen schneidet, von denen die eine durch den Lichtpunkt und die andere durch dessen Bild geht, das Centrum der Krümmung der Streifen sich bis in unendliche Entfernung bewegt und die Streifen erst gerade werden und dann sich in umgekehrter Weise biegen.

Fällt das Auge mit dem Lichtpunkt zusammen, so werden f, g, h respective gleich a, b, c und R verschwindet unabhängig von x und y. Dasselbe geschieht, wenn das Auge mit dem Bilde zusammenfällt, weil dann

$$\frac{f}{h} = -\frac{a}{c}, \quad \frac{g}{h} = -\frac{b}{c}, \quad \frac{1}{h} + \frac{1}{c} = \frac{2}{\varrho}.$$

Wenn folglich das Auge eine der oben erwähnten Ebenen schneidet, und dabei in der den Lichtpunkt mit seinem Bilde verbindenden Linie bleibt, haben wir, statt Streifen, die gerade werden und dann ihre Krümmung ändern, Ringe, welche durch Erweiterung bis ins Unendliche verschwinden und darauf wieder erscheinen.

Ich habe diese Schlüsse durch Versuche bewährt gefunden, wobei ich, wenns nöthig war, in der im §. 13 erwähnten Weise ein virtuelles Bild des Auges statt des Auges selber nahm. Die Versuche umfaſsten die folgenden Fälle, bei deren Beschreibung O das Krümmungscentrum des

Digitized by Google

des Spiegels, F den Hauptbrennpunkt desselben, L den Lichtpunkt, und L_3 dessen Bild bezeichnet.

Concaver Spiegel: L jenseits O. Auge: 1) jenseits L; 2) bei (*passing*) L; 3) zwischen L und L_3; 4) bei L_3 5) zwischen L_3 und dem Spiegel.

Concaver Spiegel: L zwischen O und F. Auge: 1) jenseits L_3; 2) bei L_3; 3) zwischen L_3 und L; 4) bei L; 5) zwischen L und dem Spiegel.

Concaver Spiegel: L zwischen F und dem Spiegel. Auge: 1) jenseits L; 2) bei L; 3) zwischen L und dem Spiegel.

Convexer Spiegel: Auge: 1) jenseits L; 2) bei L; 3) zwischen L und dem Spiegel.

Die angewandten Spiegel hatten, wie gewöhnlich, Flächen von gleicher Krümmung. Wurde die Beobachtung direct angestellt, war es nicht schwierig, zu bestimmen, auf welcher Seite der den Lichtpunkt mit seinem Bilde verbindenden Linie das Auge lag, und folglich zu entscheiden, ob die Richtung der Krümmung mit der Theorie übereinstimmte oder nicht. Machte man die Beobachtung durch Reflexion an einer Glasplatte, so wurde das Auge so gestellt, daſs sein virtuelles Bild in die Linie LL_3 fiel, indem man den Kopf bewegte bis das Bild des Lichtpunkts im Centrum des Ringsystems gesehen wurde. Da die Radien der beiden Flächen des Spiegels gleich, oder nur um eine gegen die Glasdicke kleine Gröſse verschieden waren, so konnten die beiden Flächen als concentrische Kugeln angesehen werden; und da in Bezug auf die Linie, welche L und L_3 verbindet, Alles symmetrisch ist, so werden, wenn das Auge in dieser Linie liegt, die Streifen nothwendig Ringe, welche das Bild zum Centrum haben. Die Theorie der Ringe oder Streifen also, welche hier mit der Erfahrung verglichen wurde, schloſs nicht die Annahme ein, daſs das Bild des Auges in der Linie LL_3 sey, wenn das Ringsystem in symmetrischer Lage um das Bild des Lichtpunkts erscheint. Indem man den Kopf etwas nach der einen Seite bewegte

Digitized by Google

und nachsah, ob das Centrum des Ringsystems rechts oder links von dem Bilde läge, war es leicht die Theorie, in Bezug auf die Richtung der Krümmung, mit der Beobachtung zu vergleichen.

Es war nicht schwer zu sagen, wann das virtuelle Bild des Auges mit dem Bilde des Lichtpunkts zusammenfiel, da in diesem Falle das letztere Bild sich unendlich ausdehnte. Die beobachteten Erscheinungen lieferten keinen directen Beweis von der Coïncidenz des virtuellen Augenbildes mit dem Lichtpunkt, mit Ausnahme dessen, was aus dem Erscheinen der Streifen selbst hervorging. Ich hielt es nicht für werth, Messungen anzustellen, sondern begnügte mich mit der Beobachtung, daſs wenn das Auge in oder nahe bei der erwarteten Lage war, die Ringe sich unendlich erweiterten, sobald das Bild im Centrum des Systems gehalten ward, und daſs die entstandenen Streifen wenn man das Bild seitwärts gehen lieſs, ihre Krümmung änderten, so wie man den Kopf rück- oder vorwärts bewegte.

21. Durch die Lage und Gröſse der achromatischen Linie, so wie durch den Werth der numerischen Gröſse die schon als Central-Ordnerin definirt worden ist, kann man die Streifen als vollkommen charakterisirt betrachten. Zur Bestimmung des achromatischen Kreises ist schon eine einfache geometrische Construction gegeben worden. Substituirt man X, Y für x, y in (26) und bezeichnet den resultirenden Werth von R durch $-n_0\lambda$ so findet man:

$$n_0 = \frac{t}{\mu\lambda} \frac{\left\{\frac{f}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\} + \left\{\frac{g}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{b}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\}^2}{\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)} \qquad (30)$$

wo bei Anwendung dieser Formel n_0 positiv zu nehmen ist.

Bezeichnet man wie zuvor den Radius des achromatischen Kreises dursch v_1 so findet man aus (28), (29) und den daraus abgeleiteten Formeln, welche η und η_1 geben:

Digitized by Google

$$v^2 = \frac{\left\{\frac{f}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\}^2+\left\{\frac{g}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{b}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\}^2}{\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)^2\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)^2} \quad (31).$$

Sind die Streifen beinahe gerade, so ist es bequemer statt der Central-Ordnerin, die mittlere Breite einer Franse zu betrachten. Zufolge der Definition von β ist

$$v+\beta dn_0 : v :: \sqrt{n_0+dn_0} : \sqrt{n_0}.$$

da sich die Radien der verschiedenen Ringe verhalten wie die Quadratwurzeln aus ihren Ordnungen. Wir haben also:

$$\beta = \frac{v}{2n_0} \quad . \ . \ . \ . \ (32)$$

22. Wenn, bei einem Hohlspiegel, eine kleine Flamme so gestellt wird, daſs sie mit ihrem Bilde zusammenfällt, und man bringt sie nun dem Spiegel etwas näher oder ferner, so ist es möglich, mit beiden Augen auf einmal ein einfaches Ringsystem zu sehen, sobald die Augen gegen die Flamme und deren Bild symmetrisch gelagert sind. Diese gesehenen Ringe scheinen zwischen der Flamme und ihrem Bilde zu liegen. Sey E das rechte, und E' das linke Auge, und werde der Kopf so gehalten, daſs die Linien LL_3 und EE' sich rechtwinklich schneiden. Wegen Aehnlichkeit der Lage beider Augen muſs das mit dem einen Auge gesehene Ringsystem genau dem mit dem anderen gesehenen gleich seyn, und daher ist es, damit zugleich mit beiden Augen ein einziges Ringsystem gesehen werde, nothwendig und hinreichend, daſs die Augenaxen auf die Centra der respectiven Systeme gerichtet seyen. Schon ist gezeigt worden, daſs der auf den Spiegel projicirte Ort des Centrums des mit einem Auge, z. B. dem rechten, gesehenen Ringsystems die Linie halbirt, welche die projicirten Orte der Flamme und ihres Bildes verbindet. Wegen der vorausgesetzten Kleinheit der Schiefen ist dieſs dasselbe, als wenn man sagt: das Centrum des mit dem rechten Auge gesehenen Systems erscheine in Richtung einer Linie, welche den Winkel LEL_3 halbirt. Ebenso erscheint das Centrum

Digitized by Google

des mit dem linken Auge gesehenen Systems in Richtung einer Linie, welche den Winkel $LE'L_3$ halbirt. Um also nur ein einziges System zu sehen, müssen die Augenaxen auf den Punkt convergiren, in welchen die halbirenden Linien die Linie LL_3 schneiden; deshalb wird das Ringsystem zwischen der Flamme und deren Bilde zu liegen scheinen.

Da die Winkel LEL_3, $LE'L_3$ von den Augenaxen halbirt werden, wenn man das Ringsystem einfach sieht, so folgt, daſs die Flamme und ihr umgekehrtes Bild beide doppelt gesehen werden, in solcher Weise, daſs die von dem einen Auge gesehene aufrechte Flamme überdeckt wird von der umgekehrten Flamme, die das andere sieht. Dieſs stimmt mit der Erfahrung, und wirklich fand ich die obige Regel zur Bestimmung der scheinbaren Lage der Ringe durch den Versuch, ehe ich sie aus der Theorie abgeleitet hatte. Die Beobachtung wurde gemacht, als die Flamme vor ihrem Bilde war, in welchem Falle die Lage der Ringe im Raume bestimmter erscheint als wenn das Bild vor der Flamme ist.

Abschnitt IV.

Gerade Streifen, gebildet durch einen Planspiegel unter beträchtlichem Einfallswinkel, und mit einem Auge entweder direct oder durch ein Fernrohr gesehen.

23. So wie der Einfallswinkel wächst, werden die Streifen immer feiner, und nachdem sie so fein geworden sind, daſs sie nicht mehr mit bloſsem Auge erkannt werden können, sind sie noch durch ein Fernrohr zu sehen, sobald die Lichtquelle hinreichend klein ist. Als die Lichtquelle aus dem Sonnenbilde einer Linse von kurzer Brennweite bestand, sah ich Spuren von Streifen, wenn der Einfallswinkel etwa 24° 50′ betrug; allein sie waren nicht ganz gut gebildet jenseits eines Winkels von etwa 10° 40′, hinter welchem sie anfingen sich mit Strahlen zu verwischen, die vom Bilde des Lichtpunkts in allen Richtungen fortschossen. Bei einem Spiegel von dünnerm Glase würden sie wahrscheinlich unter einem noch gröſseren Ein-

Digitized by Google

fallswinkel sichtbar seyn. Die Theorie im Abschnitt II erklärt ihren Ursprung und allgemeinen Charakter hinreichend; allein da bei Aufstellung der Formeln jenes Abschnitts die Schiefe als klein vorausgesetzt ward, so mag es wünschenswerth seyn, einen Ausdruck für ihre Breite zu haben, in welchem keine von der Kleinheit der Schiefe abhängige Annäherung gemacht ist, um künftigen Messungen, die bei einem groſsen Einfallswinkel unternommen werden, zuvorzukommen.

24. Da wir die im §. 10 gebrauchten Bezeichnungen beibehalten, brauchen wir nur die Gleichungen (17) und (18) anzuwenden, ohne eine von der Kleinheit der Winkel φ und φ' abhängige Annäherung zu machen. Die Dicke t mag noch als klein im Vergleich zu c und h angenommen werden. Vernachlässigen wir t bei erster Annäherung und substituiren dann die aus dieser Annäherung erhaltenen Werthe von $\tan g\varphi'$ und $\sec\varphi'$, so finden wir

$$R_1 = \sqrt{c^2+s^2} + \sqrt{h^2+u^2} + 2t\sqrt{\frac{(\mu^2-1)s^2+\mu^2c^2}{s^2+c^2}}.$$

Dann c mit h, und s mit u vertauschend, und subtrahirend, bekommen wir zuletzt:

$$R = 2t\left\{\sqrt{\mu^2-\frac{s^2}{s^2+c^2}} - \sqrt{\mu^2-\frac{u^2}{u^2+h^2}}\right\} \quad (33).$$

25. Für die achromatische Linie ist $R=0$, und also $s:c :: u:h$. Folglich steht s zu u in dem constanten Verhältniſs $c:h$, und daher ist, nach einem wohl bekannten geometrischen Theorem, die achromatische Curve ein Kreis, der seinen Mittelpunkt in der verlängerten Linie $L_0 E_0$ hat, und diese Linie in den beiden Punkten schneidet, in welchen sie auſsen und innen in dem gegebenen Verhältniſs getheilt ist. Der letztere dieser Punkte kann gebildet werden, wenn man LE fortzieht bis sie die verlängerte $L_0 E_0$ trifft, und der erstere, indem man LL_0 verlängert, bis die Verlängerung gleich ist der Linie selbst, und dann das Ende der Verlängerung mit E verbindet. Folglich ist die im §. 11 gegebene Construction zur Bestimmung des hellen Streifens von der Ordnung Null für jeglichen Einfallswinkel gültig.

Digitized by Google

26. In der Nachbarschaft des Bildes sind die Streifen beinahe gerade, da sie Kreisen von sehr groſsem Radius angehören. Um die mittlere Breite eines Streifens zu finden, reicht es hin, den Punkt P als in der Linie $L_0 E_0$ liegend anzunehmen, die Gleichung (33) zu differentiiren, dabei R, s und u zusammen zu variiren und $s+u$ constant zu lassen, $\frac{dR}{du}$ durch $\frac{\lambda}{\beta}$ zu ersetzen, und nach der Differentiation u und s auf das kleine als Strahl betrachtete Bündel zu beziehen, durch welches das Bild gesehen wird. Ist i der Einfallswinkel, so kann man nach der Differentiation setzen: $s = c \operatorname{tg} i$, und $u = h \operatorname{tg} i$, und hat demnach

$$\beta = \frac{\lambda c h}{2t(c+h)} \cdot \frac{\sqrt{\mu^2 - \sin^2 i}}{\sin i \cos^3 i} \quad . \; . \; . \quad (34).$$

Wegen der Gröſse des Einfallswinkels ist die Breite der Streifen fast gleichförmig, und deshalb kann β als die Breite irgend eines Streifens angesehen werden, wobei man sich zu erinnern hat, daſs β die lineare Breite eines Streifens ist, wie man ihn auf den Spiegel projicirt sieht. Bezeichnet man die Winkelbreite durch ω, so hat man wegen der Kleinheit dieser Gröſse

$$\omega = \frac{\beta \cos i}{h \sec i} = \frac{\lambda c}{t(c+h)} \frac{\sqrt{\mu^2 - \sin^2 i}}{\sin 2i} \quad . \; . \; . \quad (35).$$

Abschnittt V.

Ueber die Natur der Ablenkung zweier interferirenden Lichtbündel aus der Bahn des regelmäſsig reflectirten Lichtes.

27. Ein Freund, dem ich einige der beschriebenen Versuche zeigte, meinte, daſs man wahrscheinlich nur durch eine auf beiden Seiten trüb gemachte Glasplatte nach einem Lichtpunkt zu sehen brauche, um Streifen oder Ringe gleicher Natur zu erblicken. Als ich indeſs die beiden Seiten einer Glasplatte in gleicher Weise wie die Spiegel mit Milch und Wasser zubereitete und dabei die beiden Seiten möglichst gleich behandelte, konnte ich bei Betrachtung eines Lichtpunkts durch die Platte auch nicht die geringste Spur

von Ringen oder Streifen wahrnehmen, welchen Abstand von der Platte das Auge auch haben mochte. Zwar umgaben den Lichtpunkt ein Paar undeutliche Ringe, allein diese waren von ganz anderer Natur, waren analog den mit Lycopodium hervorzubringenden Ringen, und entstanden aus der Interferenz der Lichtbündel, die an entgegengesetzten Seiten der Milchkügelchen vorbeigingen. Es hatte keine Schwierigkeit, sie von dem gesuchten System zu unterscheiden, weil sie fortwährend den Lichtpunkt zu ihrem Centrum behielten, wenn man die Platte gegen die diesen Punkt mit dem Auge verbindende Linie neigte. Die Abwesenheit der Ringe und Streifen zeigte also, daſs die an den beiden Seiten der Platte zerstreuten Bündel nicht mit einander zu interferiren vermochten.

Die Strahlen, welche bei der Zerstreuung unendlich kleine Winkel mit den regelmäſsig gebrochenen Strahlen bilden, gehören zu einem Punkte des hellen Streifens nullter Ordnung, und werden daher auf der Netzhaut vereinigt, wenn der Lichtpunkt deutlich gesehen wird. Dasselbe müſste, wenigstens sehr angenähert, für die benachbarten Punkte des Ringsystems gelten, wenn ein solches existirte, und deshalb würde man wenigstens einen Theil des Systems deutlich sehen, wenn man den Lichtpunkt deutlich sieht. Die Abstände des Lichtpunkts von der Glasplatte und der Glasplatte von dem Auge waren vergleichbar mit den entsprechenden Abständen beim Planspiegel-Versuch, und die Glasdicke war ebenfalls vergleichbar; und bei einem Spiegel sieht man die Streifen mit der äuſsersten Leichtigkeit innerhalb weiter Gränzen von Glasdicken und von Abständen des Lichtpunkts und des Auges vom Spiegel. Um indeſs jeden Zweifel zu heben, daſs nicht die Streifen bei Bildung durch Transmission zu klein gewesen seyn möchten, um nicht gesehen zu werden, habe ich die Verzögerung auf dieselbe Weise wie im §. 10 berechnet; das Resultat ist

$$R = -\frac{t}{2\mu}\left(\frac{1}{c}+\frac{1}{h}\right)^2(x^2+y^2)$$

worin R die Verzögerung des beim Austritt zerstreuten Strahls gegen den beim Eintritt zerstreuten ist, c der Abstand des Lichtpunkts von der Platte, h der der Platte von dem Auge, t die Dicke und μ der Brechungsindex der Platte; x und y sind die Coordinaten des Punktes, in welchem die Platte von einem kleinen, ins Auge eintretenden Bündel (betrachtet als Strahl) geschnitten wird, und sie werden gemessen von dem Punkt, in welchem die den Lichtpunkt und das Auge verbindende Linie, die als winkelrecht auf der Ebene der Platte vorausgesetzt wird, die Platte schneidet. Bei Einsetzung von Zahlenwerthen in obige Formel ergaben sich für die Ringe solche Dimensionen, daſs sie, wenn sie wirklich gebildet worden wären, der Beobachtung nicht füglich hätten entgehen können.

Das Nicht-Erscheinen der Ringe führt zu folgendem Gesetz:

Sollen zwei Bündel zerstreuten Lichtes interferiren, so ist es nothwendig, daſs sie, beim Hin- und Rückgang, durch dieselbe Reihe von Theilchen zerstreut werden. Zwei Bündel, die durch zwei verschiedene Reihen von Theilchen zerstreut worden sind, wenn sie auch ursprünglich aus derselben Quelle herstammen, verhalten sich zu einander wie zwei Bündel aus verschiedenen Quellen.

Diesem Gesetze zufolge muſs man, bei allen Rechnungen über die Farben dicker Platten, die elementaren Ring- oder Streifensysteme, die den einzelnen Elementen der getrübten Spiegelfläche entsprechen, in Betracht ziehen und sie als einander deckend ansehen. Die Vibrationen in Bündeln, die an verschiedenen Elementen zerstreut wurden, dürfen nicht zusammengesetzt werden.

28. Der Grund zu diesem Gesetz wird erhellen, wenn man erwägt, daſs Staubtheilchen etc., so klein sie auch seyn mögen, doch gegen Lichtwellen meistens groſs sind, so daſs das beim Eintritt zerstreute Licht, als Ganzes genommen, höchst unregelmäſsig ist. Der einzige Grund, warum überhaupt eine regelmäſsige Interferenz möglich ist, ist der, daſs jedes Staubtheilchen zwei Mal in ähnlicher Weise wirkt,

Digitized by Google

einmal beim Hingange der Welle, und einmal beim Rückgange derselben.

Um die Wirkungsweise näher zu untersuchen, möge P ein Staubtheilchen seyn, und eine Lichtwelle betrachtet werden, die von einem einzelnen Element der Flamme oder irgend einer Lichtquelle ausgeht. Wenn diese Welle das Theilchen P erreicht und an ihm fortgeht, wird äuſserlich eine Portion in allen Richtungen reflectirt und mit dieser haben wir nichts zu schaffen. Sobald die Welle P eben vorbei ist, kann man annehmen, als hätte sie gewissermaſsen vorn ein *Loch*, entsprechend der Gröſse von P; d. h. in einem gewissen Stück der Fläche, welche die allgemeine Vorderseite der Welle bildet, wird der Aether in Ruhe seyn. So wie die Welle fortschreitet, divergirt die Störung von der Nachbarschaft dieses Loches aus durch regelmäſsige Diffraction, und wenn die Störung die belegte Spiegelfläche erreicht, erleidet die allgemeine Welle eine Reflexion, so gut wie die secundären Wellen, welche, da sie von der Nachbarschaft von P aus divergirt haben, keine Welle mit ungestörter (*unruffled*) Vorderseite bilden, weil es an secundären Wellen fehlt, die von dem Loche selbst aus divergiren, und diese würden nöthig seyn, um eine Welle mit ähnlicher Vorderseite wie die ursprüngliche herzustellen. Betrachten wir einen einzelnen gebeugten Strahl, so ist es wahrscheinlich, daſs er bei seiner Rückkehr eine regelmäſsige Refraction erleide, weil angenommenermaſsen der Staub nur einen mäſsigen Theil der Vorderfläche des Spiegels bedeckt. Ein Stück der Welle, welches in gewissem Abstande von P durch regelmäſsige Refraction in das Glas eintrat, wird, nach regelmäſsiger Reflexion, von innen auf P einfallen. Es ist wahrscheinlich, daſs das somit auf P einfallende Stück nicht einem Fleck entspricht, wo die Vorderseite der Welle materiell durch Diffraction beim Eintritt gestört worden ist, so daſs man bei Betrachtung der auf P einfallenden Welle die vorherige Diffraction vernachlässigen kann. Gleich nach der Refraction fällt dann die Welle auf P ein, von welchem ein Theil wie-

Digitized by Google

derum in verschiedenen Richtungen zurückgeworfen mit dem wir es aber nicht zu thun haben; ein Theil vielleicht von P gebrochen oder absorbirt, und der geht weiter. Die so fortgehende Welle divergirt v Nachbarschaft von P aus durch gewöhnliche Diff und die beiden gebeugten Bündel, da sie von dem Theilchen in ähnlicher Weise gebeugt wurden, sind stande zu interferiren. Die Aehnlichkeit der bei fractionen soll im nächsten Abschnitte ausführliche tet werden.

Während nun das Licht noch in dem Glase man sich die Staubtheilchen entfernt und aufs Ge wieder hergestellt. Die Wahrscheinlichkeit ist, Theilchen den zuvor von P eingenommenen Or men werde. Sey P' das der früheren Lage von Theilchen und, um eine für Interferenz möglichst Voraussetzung zu machen, sey P' eben das Th ein wenig auf der Fläche fortgeschoben, ohne Obgleich das Verzögerungs-Intervall R der beiden in seiner ersten Lage gebeugten Lichtbündel bei dieser in einem gegebenen Punkt des Raums fast dem Verzögerungs-Intervall der beiden durch P in zweiten Lage gebeugten Bündel bei Erreichung des Punkts, so würde doch, wie leicht zu ersehen, diese tervall gänzlich geändert werden, wenn die Verschie der Lage während der Zeit geschähe, welche zwischen Abgang der Welle von P und ihrer Rückkehr nach Reflexion verstreicht. Ueberdieſs würde sich der B des Verzögerungs-Intervalls in sehr unregelmäſsiger V von Theilchen zu Theilchen verändern und deshalb regelmäſsige Interferenz stattfinden. Der eben betrac rein ideale Fall ist nun genau analog dem Fall beim lichen Versuch, wo ein Lichtpunkt durch eine auf be Seiten getrübte Glasplatte betrachtet wird, weil die T chen an der einen Seite keine Beziehung haben zu de an der anderen. In einem Falle wie dieser können daher nicht erwarten, Ringe oder Streifen zu sehen.

Digitized by Google

29. Gemäſs der Formel (35) wird die Winkelbreite eines durch einen Planspiegel gebildeten Streifens bedeutend, sobald *i* nahe gleich 90° wird, so daſs, anscheinend, bei einem groſsen Einfallswinkel Streifen sichtbar seyn müſsten. Allein wenn man die Bahnen zweier durch eine selbe Reihe von Theilchen zerstreuten Bündel verfolgt, so findet man, daſs sie so weit aus einander liegen, daſs, aus verschiedenen Gründen, keine regelmäſsige Interferenz zu erwarten ist. Folglich sind bei groſsem Einfallswinkel keine Streifen sichtbar.

30. In den vorhergehenden Abschnitten haben wir von dem Licht gesprochen, durch welches Ringe gebildet werden als wären sie an der getrübten Fläche *zerstreut (scattered)* worden. Und so verhält es sich wirklich, wenn wir mit diesem Worte bloſs eine Ablenkung aus der Bahn verstehen, die sie nach dem Gesetz der regelmäſsigen Refraction befolgt haben würden. Allein nach dem vorhergehenden Artikel ist das Licht, im strengen Sinne des Worts, nicht zerstreut, sondern regelmäſsig gebeugt worden. Zerstreutes Licht ist, streng genommen, dasjenige, durch welches wir gewöhnlich die Körper sehen, oder auch dasjenige, welches weiſses Papier und ähnliche Substanzen durchlassen. Die vorstehende Ansicht über die Natur des Lichts, durch welches Ringe gebildet werden, wird durch die Resultate verschiedener Versuche bestätigt.

Bei den in der Einleitung erwähnten Versuchen von Sir William Herschel und Hrn. Pouillet, so wie auch bei denen des Herzogs von Chaulnes wurden Ringe von gleicher Art mit den an einem belegten Glasspiegel entstehenden in solchen Fällen gebildet, in welchen die Ablenkung des Lichts aus seiner regelmäſsigen Bahn unwiderleglich von der Natur der Diffraction ist. Aus der Aehnlichkeit der Wirkung haben wir ein Recht auf die Aehnlichkeit der Ursache zu schlieſsen, sobald dieſs nicht besondere Schwierigkeit mit sich bringt, und das scheint hier nicht der Fall zu seyn, sondern gerade das Gegentheil.

Digitized by Google

31. Nachdem ich die Oberfläche eines Hohlspiegels, der zur Bildung der Streifen angewandt worden, gereinigt hatte, rieb ich sie mit etwas Talg ein, und wischte sie dann in einer Richtung mit einem Handtuch ab, so daſs zarte Furchen darauf gebildet wurden. Der Ueberzug veranlaſste keine groſse Dunkelheit; allein das Bild einer Kerze das in dem Spiegel gesehen wurde, war, wie gewöhnlich unter diesen Umständen, winkelrecht gegen die Streifen mit zwei Lichtschweifen versehen. Als eine kleine Flamme in den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels gestellt war, fand ich, daſs die Ringe dort, wo sie von den Lichtschweifen geschnitten wurden, mit groſser Lebhaftigkeit erschienen, anderswo aber fast unsichtbar waren.

Nun sind bekanntlich die Lichtschweife ein Diffractionsphänomen; der gestreifte Ueberzug kann nämlich als eine Art von unregelmäſsigem Gitter betrachtet werden und die Lichtschweife sind von der Natur der Fraunhofer'schen Spectra. Wäre ein Ueberzug (*tarnish*) im Allgemeinen vermögend, unabhängig von Diffraction, Ringe zu erzeugen, so gäbe es keinen Grund, warum ein Ueberzug von Talg dieſs nicht vermöchte; denn die Talgtheilchen sind zarter als die der meisten Arten von Schmutz. Wenn aber beim Talgüberzug die Ablenkung des Lichts aus der regelmäſsigen Bahn nicht ein Diffractionsphänomen wäre, so fände sich kein Grund, weshalb in dem eben beschriebenen Versuche die Ringe sich auf die Lichtschweife beschränkten.

32. Die Polarisationsphänomene scheinen jedoch ein *Experimentum crucis* an die Hand zu geben, um zu entscheiden, ob die Ablenkung des Lichts aus seiner regelmäſsigen Bahn, welche die Bildung der Ringe veranlaſst, ein Diffractionsphänomen oder ein Zerstreuen im eigentlichen Sinne des Wortes sey. Wenn polarisirtes Licht zerstreut wird, entweder durch Reflexion an weiſsem Papier oder durch Transmission durch dasselbe, so verliert es seine Polarisation; allein wenn polarisirtes Licht eine

Digitized by Google

regelmäfsige Diffraction erleidet, so behält es seine Polarisation.

Ich stellte eine kleine Flamme nahe an den Krümmungsmittelpunkt eines Hohlspiegels, dessen Oberfläche mit Milch und Wasser zubereitet worden, und brachte nun ein Nicol'sches Prisma dicht an die Flamme, damit das auf den Spiegel fallende Licht polarisirt sey. Bei Untersuchung mit einem zweiten Nicol erwiesen sich die Ringe vollkommen polarisirt.

33. Es wird hier nicht am unrechten Orte seyn, die wahrscheinliche Ursache eines von Hrn. Pouillet beobachteten Phänomens nachzuweisen. Bei einem Versuch, bei welchem Ringe entstanden, als einfach ein opaker Körper mit gerader Kante vor einem Spiegel gehalten wurde, fand sich, dafs sie nur zu einer Hälfte ihres Umfangs deutlich ausgebildet waren. Der Grund hievon scheint einfach folgender zu seyn. So wie die Lichtwellen auf ihrem Gange zum Spiegel die beugende Kante treffen, werden die einwärts gebeugten, in den geometrischen Schatten eintretenden Strahlen von dem Spiegel regelmäfsig reflectirt und auf den opaken Körper zurückgeworfen, der sie auffängt. Da diese Strahlen zur Bildung derjenigen Hälfte des Systems welche mit dem opaken Körper auf einer Seite liegt, nothwendig sind, so wird nur die andere Hälfte gut gebildet. Die erste Hälfte kann nur dunkel gebildet werden durch einige wenige Strahlen, die, in der erforderlichen Richtung, in solchem Abstande von der Kante gebeugt worden sind, dafs sie bei ihrer Rückkehr dicht an der Kante vorbeistreichen und so mit anderen Strahlen interferiren, die von der Kante bei Rückkehr der allgemeinen Welle gebeugt wurden.

Abschnitt VI.

Untersuchung der Beugungswinkel.

34. Zur Vervollständigung der Theorie dieser Ringe und Streifen bleibt noch übrig, die beiden Diffractionen zu

Digitized by Google

vergleichen, welche eine Lichtwelle respective bei ihrem Eintritt in das Glas und bei ihrer Rückkehr erleidet. Denn die Phase und die Intensität eines in gegebener Richtung gebeugten Strahls hangen gänzlich von den Umständen ab, unter welchen die Diffraction stattfindet; und wären die Umstände bei den oben erwähnten beiden Diffractionen wesentlich verschieden, so könnten die Ringe modificirt werden oder selbst ganz verschwinden.

Betrachten wir zunächst den Fall, wo bei einem Hohlspiegel der Lichtpunkt und sein Bild in derselben, auf der Axe winkelrechten, Ebene befindlich sind. Betrachten wir in diesem Falle irgend einen Punkt P der getrübten Fläche und irgend einen Punkt M in der Ebene der Ringe, so wird der Beugungswinkel des gebeugten Strahls beim Austritt seyn: $L_3 PM$ [1]). Für die beim Eintritt gebeugten Strahlen wird der Beugungswinkel, *gemessen in der Luft*, seyn: LPM_3, d. h. $M_3 P$ ist die Bahn eines Strahls in der Luft, welcher durch regelmäſsige Brechung im Glase in die Richtung des bei P gebeugten Strahles gebracht werden würde. Ist C der Durschnitt der Axe und der Ring-Ebene, so wird C der Mittelpunkt des Systems, so wie der Linien LL_3 und MM_3 seyn, und deshalb wird LM_3 gleich und parallel mit $L_3 M$ seyn. Folglich sind, wegen Kleinheit der Schiefen, die Beugungswinkel LPM_3 und $L_3 PM$ beinahe gleich; ihre Ebenen fallen nahe zusammen, allein die Ablenkungen finden in entgegengesetzten Richtungen statt. Allein zwischen den beiden Diffractionen erleidet das Licht eine Reflexion, und weil die gegenseitige Neigung der Strahlen durch die Reflexion umgekehrt wird, müssen wir uns die Richtung der Ablenkung bei der ersten Diffraction umgehrt denken, um die Umstände beider Diffractionen zu vergleichen. Diese Umkehrung zugegeben, sehen wir, daſs nicht nur die Diffractionswinkel beinahe

1) Indem ich von Diffractionswinkeln, wie $L_3 PM$, spreche, werde ich zwischen $L_3 PM$ und MPL_3 unterscheiden, nämlich, die erstere Bezeichnung für die Ablenkung von PL_3 nach PM, die letztere für die Ablenkung von PM nach PL_3 gebrauchen.

Digitized by Google

zusammenfallen, sondern auch die Ablenkungswinkel dieselben sind.

Demgemäſs erfolgt die mit der Beugung verknüpfte Interferenz unabhängig von der Interferenz, welche zu den Farben dicker Platten Anlaſs giebt. Denn bezeichnen I und I' die Vibrationen von M, herrührend von zwei Lichtbündeln, die beim Eintritt in das Glas an einem Staubtheilchen P gebeugt worden sind und an entgegengesetzten Seiten von P vorbeistreichen. Bezeichnen J und J' die Vibrationen, herrührend von zwei Bündeln, die beim Austritt gebeugt wurden und an denselben Seiten von P vorbeistreichen wie respective I und I'. Bezeichne $I+I'$ die Resultante von I und I', und ähnlich in anderen Fällen. Sey χ der Phasenunterschied, entsprechend der Verzögerung R, und ω der Phasenunterschied von I, I' und deshalb auch von J, J', wegen Aehnlichkeit der beiden Diffractionen; dann können wir die Phasen der vier Vibrationen ausdrücken respective durch $\vartheta+\chi+\omega$, $\vartheta+\chi$, $\vartheta+\omega$, ϑ. Hängen wir, gröſserer Deutlichkeit halber, den Symbolen der Diffractionen die Phasen an, so können wir die Resultante sämmtlicher vier Vibrationen ausdrücken durch:

$$(I_{\vartheta+\chi+\omega}+I'_{\vartheta+\chi})+(J_{\vartheta+\omega}+J'_{\vartheta}).$$

Wegen Aehnlichkeit der beiden Diffractionen können überdieſs die Coëfficienten der beiden Vibrationen I und J und ebenso die Vibrationen I' und J', als einander gleich angenommen werden. Wahr ist's, daſs die Diffraction, wegen der endlichen Dicke des Glases, in verschiedenen Abständen von der Lichtquelle stattfindet, allein der Abstandsunterschied ist im Vergleich zu jedem der absoluten Abstände eine kleine Gröſse von der Ordnung t, die vernachlässigt werden kann. Folglich gehören die beiden Resultante $I+I'$ und $J+J'$ zu einem Diffractionsring gleicher Art und sind in nichts als der Phase verschieden, die bei der erstern um χ gröſser ist als bei der letztern. Mithin erfolgen die beiden Arten von Interferenz unabhängig von einander. Freilich haben wir bei den vorstehenden Schlüssen nur zwei interferirende Bündel I und I' betrachtet, und bei Diffractions-

berechnungen kommt die Resultante einer Unzahl von Bündeln in Betracht. Allein dasselbe Räsonnement würde auch stichhaltig seyn, wäre die Anzahl der Bündel $I, I', I''\ldots$ und die der entsprechenden $J, J', J''\ldots$

35. Wenn ein unregelmäſsiges Pulver oder Etwas der Art zum Zerstreuen des Lichts gebraucht wird, so sind keine Diffractionsringe sichtbar, weil ein gegebener Punkt M in der Ebene der Ringe zu einem Diffractionsringe der einen Art, entsprechend einem gewissen Staubtheilchen, gehören würde und zugleich zu einem Diffractionsring der anderen Art von einem anderen Staubtheilchen; und daher wird nichts gesehen als die den dicken Platten angehörigen Interferenzringe. Allein wenn Lycopodium angewandt wird, sieht man zugleich die Lycopodiumringe und die Interferenzringe. Die ersteren liegen immer, wie es seyn muſs, symmetrisch ringsum das Bild, weil sie nur von dem Diffractionswinkel abhängen, welcher für alle Punkte eines um L_3, als Centrum, beschriebenen Kreises derselbe ist. Dadurch unterscheiden sie sich zugleich von den letzteren, deren Centrum auf halbem Wege zwischen dem Lichtpunkt und seinem Bilde liegt. Als ich etwas Lycopodium auf einen Hohlspiegel streute und eine kleine Flamme dem Krümmungsmittelpunkte nahe stellte, seitwärts in solchem Abstande, daſs die beiden Ringsysteme einander schnitten, fand ich wirklich, daſs jegliche Farbe, die in dem auſserhalb des Interferenz-Systems liegenden Theil eines Lycopodiumringes erschien, in dem letzteren System auf dem ganzen übrigen Theil eines um das Bild beschriebenen Kreises vorwaltete. Ward die Flamme in die Axe gestellt, so kam eine abnorme Ungleichheit in den Glanz der Ringe des Interferenz-Systems stark zum Vorschein. Diese Ungleichheit entsprach, wie leicht zu ersehen, den Abwechslungen der Intensität im Lycopodium-System.

36. Kehren wir nun zu dem allgemeinen Fall zurück, wo die Lage des Lichtpunkts und des Auges als irgend welche, entweder in der Axe oder nicht weit auſser derselben, vorausgesetzt wird.

Die

Digitized by Google

Die Gleichungen der Linien PL_3, PE sind:

$$\frac{\xi - a_3}{a_3 - x} = \frac{\eta - b_3}{b_3 - y} = \frac{\zeta - c_3}{c_3}$$

$$\frac{\xi - f}{f - x} = \frac{\eta - g}{g - y} = \frac{\zeta - h}{h}.$$

Der kleine Winkel $L_3 PE$ werde auf die Ebenen der xz und zy projicirt, und α, β seyen die Projectionen, gemessen positiv gegen x, y, und von PL_3 gegen PE. Die vorherigen Gleichungen geben:

$$\alpha = \frac{x - a_3}{c_3} - \frac{x - f}{h}.$$

welche, wenn a_3 und c_3 in Gliedern von a und c ausgedrückt werden, wird:

$$\alpha = \left(\frac{2}{\varrho} - \frac{1}{c} - \frac{1}{h}\right)x + \frac{a}{c} + \frac{f}{h} \quad (36).$$

Sind α' und β' die Projectionen des Diffractionswinkels LPE_3 (wo E_3 das Bild des Auges bezeichnet) so können wir α' und β' aus α und β finden, wenn wir a, b, c gegen f, g, h vertauschen und das Zeichen wechseln. Aendern wir nun das Zeichen der entstehenden Ausdrücke, um der Reflexion rückwärts zu entsprechen und so die Umstände der beiden Diffractionen zu vergleichen, so werden wir genau dieselben Ausdrücke wie zuerst erhalten, da (36) und der entsprechende Ausdruck, welcher β giebt, unverändert bleiben, wenn a, b, c gegen f, g, h vertauscht werden. Mithin finden die beiden Diffractionen in dem allgemeinen Fall und in dem zuerst betrachteten besonderen ganz unter denselben Umständen statt, und deshalb werden die Interferenzringe von den Unregelmäſsigkeiten die etwa die Diffractionsweise herbeiführen mag, nicht afficirt. Würde überdieſs die Diffraction, wie bei dem Lycopodium, mit einem gewissen Grade von Regelmäſsigkeit geschehen, so daſs der vereinte Effect aller Theilchen, welche Licht in solcher Richtung in das Auge senden, daſs es zu einem gegebenen Punkt der Netzhaut gebracht werden kann, Ringe oder Fransen hervorbringt, so würden

Digitized by Google

die Diffractionsringe und die Interferenzringe unabhängig von einander gesehen werden [1]).

37. Ist δ der kleine Diffractionswinkel, so ist $\delta^2 = \alpha^2 + \beta^3$, wornach aus (36) und der andern Gleichung, die der Symmetrie nach hingeschrieben werden kann:

$$\left.\begin{array}{l}\delta^2 = \left[\left(\frac{2}{\varrho} - \frac{1}{c} - \frac{1}{h}\right) x + \frac{a}{c} + \frac{f}{h}\right]^2 \\ \quad + \left[\left(\frac{2}{\varrho} - \frac{1}{c} - \frac{1}{h}\right) y + \frac{b}{c} + \frac{g}{h}\right]^2\end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; (37).$$

Folglich bilden die Orte der Punkte, für welche der Diffractionswinkel gegebene Werthe besitzt, ein System von concentrischen Kreisen. Aus (29) sehen wir, daſs die Coordinaten des Centrums des Systems ξ_1 und η_1 sind, daſs also das Centrum in dem Punkte liegt, in welchem der Spiegel geschnitten wird von der Linie, die das Auge mit dem Bilde des Lichtpunkts verbindet. Dieſs Resultat hätte voraus gesehen werden können, da δ nur für regelmäſsig gebrochenes Licht verschwindet, und dieses tritt in das Auge nur in Richtung der Linie, die das Auge und das Bild verbindet. Führt man die Coordinaten ξ_1 und η_1 in die Gleichung (37) ein, so können wir dieselbe unter die Formel bringen:

$$\delta^2 = \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{c} - \frac{2}{\varrho}\right)^2 \left\{(x - \xi_1)^2 + (y - \eta_1)^2\right\} \qquad (38).$$

Da die Diffraction sehr spärlich wird, wenn der Diffractionswinkel eine bedeutende Gröſse erlangt, so folgt, daſs die Interferenzringe bei beträchtlichem Winkelabstand

1) Aus einigen rohen Versuchen, welche ich selbst mit Gaze, die vor einem gläsernen Hohlspiegel mit reiner Oberfläche ausgespannt ward, angestellt habe, bin ich geneigt zu glauben, daſs die quadratischen Ringe, welche, wie erwähnt, der Herzog von Chaulnes bei Versuchen von Musselin beobachtete, herrühren von einer Combination der Farbenringe dicker Platten und den Erscheinungen, die ein Kreuzgitter erzeugt. Wenn dem so ist, würde die Unabhängigkeit der beiden Systeme dargethan werden, wenn man den Spiegel etwas neigte; dann würde das letztere System das Bild zu seinem Mittelpunkt gehabt haben, das erstere dagegen seinen Mittelpunkt in einem Punkt, der zwischen dem Lichtpunkt und dem Bilde läge.

Digitized by Google

vom Bilde des Lichtpunktes nur schwach sind. Dieſs stimmt mit der Beobachtung. Bei dem Versuch, bei welchem eine Flamme in das Krümmungscentrum eines Hohlspiegels gebracht und darauf seitwärts bewegt wird, sind die Ringe zwar in Bezug auf die Flamme und deren Bild symmetrisch, was die Gestalt und Farben betrifft, aber nicht symmetrisch, was ihre Intensität anlangt; vielmehr sind sie an der Seite des Bildes entschieden glänzender als an der Seite der Flamme selbst. Daſs dieſs nicht bloſs von dem Schein des directen Lichts herrühre, kann man nachweisen, wenn man einen kleinen Gegenstand vor die Flamme hält, so daſs das Auge vor dem directen Lichte geschützt ist. Dann sind die Ringe, obwohl sie in der Nähe der Flamme besser als zuvor gesehen werden, doch viel schwächer als an der gegenüberstehenden Seite, wenn der Abstand der Flamme von der Axe nur einigermaſsen beträchtlich ist. Wenn, bei einem Planspiegel, der Lichtpunkt etwas weit von dem Auge liegt, so daſs die Ringe nicht aus dem Gesichtsfelde treten, können diese, aus demselben Grunde, sobald der Winkelabstand zwischen dem Lichtpunkte und seinem Bilde zu groſs ist, nicht durch ihre ganze Erstreckung verfolgt werden, sondern nur innerhalb einer mehr oder weniger beträchtlichen Strecke an der Seite des Bildes.

38. Wenn bei einem Hohlspiegel der Lichtpunkt nicht weit vom Krümmungscentrum liegt und die Ringe aus nicht zu groſser Entfernung betrachtet werden, ist der erste Factor in dem Ausdruck für δ^2 (Gleichung 38) nicht groſs, und der Diffractionswinkel wächst beim Entfernen von dem Bilde nicht rasch. Bei einem Planspiegel ist $\varrho = \infty$ und setzen wir c und h ihren Werthen in den früheren Fällen gleich, auch nur ungefähr, um die beiden Fälle bis auf die Krümmung des Spiegels einander in jeder Hinsicht gleich zu machen, so ist der erwähnte Factor, obwohl gröſser als zuvor, doch noch hinreichend klein, um δ an sehr schnellem Wachsen zu hindern, wenn man sich vom Bilde entfernt. Demgemäſs sind in beiden Fällen die Ringe

Digitized by Google

und Streifen noch bei bedeutendem Winkelabstand vom Bilde mit Lebhaftigkeit zu sehen. Allein bei einem convexen Spiegel mit bedeutender Krümmung ist ϱ negativ und nicht groſs; dann wird der Factor in dem Ausdruck für δ^2 beträchtlich und der Diffractionswinkel wächst rasch beim Entfernen vom Bilde. In der That fand ich, daſs ein solcher Spiegel sich zur Hervorbringung von Ringen oder Streifen sehr wenig eignet, in sofern gewöhnlich nur ein verhältniſsmäſsig sehr kleines Stück des Systems gesehen wird, besonders wenn das Stück in unmittelbarer Nähe des Bildes liegt.

V. *Betrachtungen über einige physische Eigenschaften der Körper; von J. A. Groshans.*

Bekanntlich kann die Ausdehnung der Flüssigkeiten näherungsweise ausgedrückt werden durch die Biot'sche Formel:

$$v = 1 + at + bt^2 + ct^3 \quad \ldots \quad (1).$$

Allein diese Formel ist von schwierigem Gebrauch und führt zu ermüdenden Rechnungen. Deshalb wende ich in diesem Aufsatz die Formel an:

$$v = \frac{V}{1+at} \quad \ldots \quad (2),$$

worin V das Volum einer Flüssigkeit bei der Temperatur T''' bezeichnet; v ist das Volum bei t Grad über oder unter T''' und a ist eine Constante, welche ich *Ausdehnungscoëfficienten* oder kurzweg *Coëfficienten* nennen werde.

T''' werde ich bald $= 0°$, bald = dem Siedpunkt (E oder e) der Flüssigkeit nehmen. Nimmt man $T''' = 0°$ und $V = 1$, so wird die Formel (2):

$$v = \frac{1}{1-at} \quad \ldots \quad (3).$$

Die Formel (3) ist nur eine Modification der Formel (1). Verlängert man die letztere ins Unbestimmte durch Zufü-

Digitized by Google

gung der Glieder dt^4, et^5 u. s. w. und setzt $b=a^2$, $c=a^3$, $d=a^4$ . . ., so geht sie in die Formel (3) über:

Wenn man bisher noch keinen groſsen Gebrauch von der Formel (3) gemacht hat, so geschah es, weil man nicht an die Constanz des Coëfficienten a glaubte. Dennoch geht aus einigen von mir angestellten Rechnungen hervor, daſs diese Formel, wenn sie auch nicht genau die Ausdehnung der Flüssigkeit ausdrückt, doch einen Grad von Annäherung gewährt, welche die Anwendbarkeit derselben in vielen Fällen gestattet.

Die folgende Tafel enthält den Vergleich der Versuche von Pierre und von Kopp über die Ausdehnung des Alkohols mit den Resultaten der Formel (3).

Die Ausdehnung dieses Körpers kann vorgestellt werden durch die Formel:

$$v=\frac{1}{1-0{,}001083} \quad . \; . \; . \; (4)$$

a ist also $=0{,}001083$. Um Raum zu sparen sind die drei Nullen, welche vor a zu stehen kommen, in der folgenden Tafel fortgelassen:

Tafel I.

Centi-grade.	Volum nach Pierre.	Werth von a.	Volum nach Kopp.	Werth von a.	Volum nach der Formel (4).	$P-K$.	$P-F$.
0°	1		1		1		
10	1,01066	1106	1,01052	1090	1,01095	+ 14	− 29
20	1,02166	1065	1,02128	1045	1,02214	+ 38	− 48
30	1,03303	1070	1,03242	1046	1,03358	+ 61	− 53
40	1,04472	1070	1,04404	1050	1,04528	+ 68	− 56
50	1,05689	1076	1,05623	1066	1,05725	+ 66	− 36
60	1,06937	1081	1,06910	1076	1,06949	+ 27	− 12
70	1,08226	1085	1,08278	1093	1,08202	− 52	+ 24
80	1,09556	1091	1,09735	1110	1,09485	− 79	+ 71

Die Columne $(P-K)$ enthält die Unterschiede der Volume nach Pierre und Kopp. Die Summe dieser Unterschiede ist $274-131=143$.

Die Columne $(P-F)$ enthält die Unterschiede der Volume nach Pierre und der Formel (4); die Summe derselben ist $-234+95=-139$.

Digitized by Google

Aus diesen beiden Columnen folgt, daſs die Formel sich mehr den Resultaten von Pierre, als denen von Kopp nähert.

Die folgenden Tafeln II und III enthalten die Resultate der Versuche von Pierre über die Ausdehnung des bei 160°,3 siedenden schwefligsauren Aethers und des bei 175°,3 siedenden Bromphosphors. In diesen Tafeln ist das Volum bei *E*, dem Siedpunkt, gleich 10000 genommen. Der Coëfficient bezieht sich auf das Volum = 1 bei

Tafel II.

Schwefligsaurer Aether, $C_4H_{10}O, SO_2$.

Centigrade unter 160,3.	Volum nach Pierre	Werth von *a*.	Centigrade unter 160,3	Volum nach Pierre.
0	10000			
10	9876	0,001255	90	9015
20	9763	1213	100	8918
30	9648	1216	110	8823
40	9536	1216	120	8731
50	9426	1218	130	8641
60	9320	1216	140	8553
70	9215	1217	150	8466
80	9114	1216	160	8382

Tafel III.

Bromphosphor, PBr_3.

Centigrade unter 175,3.	Volum nach Pierre.	Werth von *a*.	Centigrade unter 175,3.	Volum nach Pierre.
0	10000			
10	9903	0,0009795	60	9441
20	9807	9891	70	9355
30	9712	9885	80	9267
40	9621	9848	90	9182
50	9530	9864	100	9100

Die beiden Tafeln zeigen, daſs der Werth von diese Körper fast gleich ist bei allen Temperaturen.

Es ist nothwendig, den Coëfficienten durch Zeichen unterscheiden, je nachdem er sich auf das Volum bei 0°

Digitized by Google

oder bei E, dem Siedpunkt, bezieht. Wenn $T''=0$, sey K der Coëfficient, und für $T''=E$ sey er Q. Diese beiden Coëfficienten sind durch die Formeln verknüpft:

$$K=\frac{1}{\frac{1}{Q}+E} \ldots (5), \quad Q=\frac{1}{\frac{1}{K}-E} \ldots (6).$$

Man hat von Zeit zu Zeit beobachtet, daſs bei gewissen Körpern z. B. bei den mit dem Terpenthinöl *isomeren* Oelen, die Ausdehnungen gleich zu seyn scheinen, wenn diese Körper von Temperaturen, die der Spannung p entsprechen, zu Temperaturen übergehen, die der Spannung $p+p'$ entsprechen. Dieſs geht auch aus meinen Formeln hervor.

Hier stellt sich indeſs eine Schwierigkeit ein. Es gab bisher, zur Berechnung der *entsprechenden Temperaturen*, keine andere Formel als die von Dalton, deren Ungenauigkeit längst erkannt ist.

Ich werde mich daher in diesem Aufsatze der Formel bedienen, die ich in diesen Annalen Bd. LXXVIII. S. 112 und Ergänzungsbd. III. S. 146 vorgeschlagen.

Es seyen irgend zwei Körper A und B, die bei E und e sieden, sey ferner T' eine Temperatur von A, die der Temperatur T'' von B entspricht; sey auch 273 durch m bezeichnet. Dann hat man die Formel:

$$\frac{m+E}{m+e}=\frac{m+T'}{m+T''} \ldots (7).$$

Diese Formel scheint mir denselben Grad von Genauigkeit darzubieten, als die, welche das Mariotte'sche und das Gay-Lussac'sche Gesetz ausdrücken.

Hr. Clausius, indem er (diese Ann. Bd. 72, S. 124) einer von mir (diese Ann. Bd. 78, S. 112) vorgeschlagenen, der Formel (7) analogen, Formel erwähnt, bemerkt daſs sie implicite das Gesetz einschlieſse:

» *Wenn man alle Temperaturen von* — 273° *C. ab zählt, so sind für irgend zwei Flüssigkeiten alle entsprechenden Temperaturen proportional.* «

Er bemerkt überdieſs, daſs Faraday eine analoge Idee

Digitized by Google

ausgesprochen habe, ohne sie in eine Formel zu übersetzen.

Hr. **Clausius** setzt noch hinzu, die Art, wie ich die Formel aufgestellt habe, lasse viel zu wünschen übrig, bemerkend:

»Obwohl dieſs Gesetz an sich, wenigstens als angenähertes, viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, und auch durch seine Uebereinstimmung mit den experimentellen Untersuchungen von **Faraday** und **Avogadro** unzweifelhaft mehr empfohlen wird als das Dalton'sche ....«

Was die Aussprüche **Faraday's** über diesen Gegenstand betrifft, so waren sie mir unbekannt; indeſs giebt dieser Umstand dem erwähnten Gesetze viele Wahrscheinlichkeit.

Was die Aufstellungsweise der Formel (7) betrifft, so ist sie die nothwendige Folge einer von mir gemachten Hypothese, der nämlich: daſs zwischen den Dichtigkeiten der Dämpfe (bei $0^m,76$ und bei E) und der atomistischen Zusammensetzung derselben einfache Verhältnisse bestehen. Am Schlusse dieses Aufsatzes werde ich auf diese Hypothese zurückkommen und zeigen, daſs diese Verhältnisse bei einer so groſsen Zahl von Körpern vorkommen, daſs es schwierig ist, alle von mir beobachteten Uebereinstimmungen dem Zufall zuzuschreiben.

Es giebt also, wie eben gesagt, Körper deren Ausdehnungen unter einander vergleichbar sind. Man könnte diese Körper unter einer gemeinschaftlichen Benennung vereinigen, indem man sie *Körper, gehörig zu gleichem Ausdehnungssystem* nennte.

Im Allgemeinen gehören zu gleichem Ausdehnungssystem:

1) die Körper von *gleicher Ausdehnung* } (Ergänzbd. III.
2) die Körper von analoger Zusammensetzung } S. 146).
3) die Verbindungen der Säuren mit dem Aethyloxyde.

Man kann also für *alle* Flüssigkeiten folgendes Gesetz aufstellen:

Zwischen zwei, den Druken P und *P' entsprechenden Tem-*

Digitized by Google

peraturen sind die Ausdehnungen gleich bei allen Körpern eines selben Systems.

Dieſs geht aus folgenden Rechnungen hervor:

Seyen A und B zwei Körper, die zu gleichem System gehören, und bei E und e sieden.

Gesetzt diese Körper seyen erkaltet, A um T Grade unterhalb E, und B um t Grade unterhalb e, und zwar seyen $(E-T)$ und $(e-t)$ zwei entsprechende Temperaturen.

Seyen ferner die Coëfficienten ausgedrückt, für A durch K (wo $T'''=0^{\circ}$) und Q (wo $T'''=E$), für B durch k (wo $T'''=0^{\circ}$) und q (wo $T'''=e$).

Zuvörderst hat man zwei Formeln, analog denen (5) und (6)

$$k=\frac{1}{\frac{1}{q}+e} \;\ldots\; (8);\quad q=\frac{1}{\frac{1}{k}-e} \;\ldots\; (9).$$

Die Ausdehnung (d. h. die Zusammenziehung oder negative Ausdehnung) wird also, zwischen diesen beiden entsprechenden Temperaturen und den Temperaturen E und e ausgedrückt seyn durch die Formeln:

Körper A. Körper B.

$$v=\frac{1}{1+TQ} \;\ldots\; (10);\quad v=\frac{1}{1+tq} \;\ldots\; (11).$$

Nun ist nach dem erwähnten Ausdehnungsgesetz:

$$TQ=tq \;\ldots\; (12).$$

Gesetzt, was weiterhin bewiesen werden wird, diese Formel bewähre sich durch die Erfahrung, so folgt aus dem durch die Formel (7) ausgedrückten Princip

$$\frac{T}{t}=\frac{m+E}{m+e} \;\ldots\; (13).$$

Und aus den Formeln (12) und (13) geht hervor:

$$\frac{Q}{q}=\frac{m+e}{m+E} \;\ldots\; (14).$$

Die Coëfficienten Q und q von A und B stehen also zu einander im umgekehrten Verhältniſs der Zahlen $(m+E)$ und $(m+e)$.

Digitized by Google

Substituirt man hierauf in der Formel (14) die Formeln (6) und (9) und macht hernach:

$$\frac{m+E}{m+\frac{1}{K}}=S \quad . \; . \; . \; (15),$$

so erhält man die Formel:

$$e=(S-1)m+\frac{S}{k} \quad . \; . \; . \; (16).$$

Ich habe die Werthe von S für einige Körper berechnet; die folgende Tafel enthält die Resultate dieser Rechnung:

Tafel IV.

Körper.	Zusammensetzung.	Siedepunkt.	Volum bei t'^0. Das Volum bei $0^0=1$.	t'.	K.	S.
Aether	$C_4H_{10}O$	34,9 Kp	1,03962 Kp	25	0,001524	0,33159
»	»	35,5 P	1,04085 P	»	0,001570	0,33374
Butters. Holzäth.	$C_{10}H_{20}O_4$	95,4 Kp	1,03012 Kp	»	0,001170	0,32722
»	»	102,1 P	1,03108 P	»	0,001208	0,34023
Zinnchlorid	$SnCl_2$	115,4 »	1,02844 »	»	0,001106	0,33005
Schwefls. Aether	$C_4H_{10}O, SO_2$	160,3 »	1,02492 »	»	0,000974	0,33625
Aceton	C_3H_6O	56,3 Kp	1,02810 Kp	20	0,001366	0,32781
Buttersäure	$C_8H_{16}O_4$	157,0 »	1,02117 »	»	0,001036	0,34751
Ameiss. Aether	$C_6H_{12}O_4$	54,9 »	1,02766 »	»	0,001346	0,32948
Essigäther	$C_8H_{16}O_4$	74,3 »	1,02644 »	»	0,001288	0,33107
Butteräther	$C_{12}H_{24}O_4$	114,8 »	1,02417 »	»	0,001180	0,34624
Valerianholzäth.	$C_{12}H_{24}O_4$	116,2 »	1,02312 »	»	0,001130	0,33625
Chloramyl	$C_{10}H_{22}Cl$	101,7 P	1,1357 »	100	0,001195	0,33773
Bromamyl	$C_{10}H_{22}Br$	118,7 »	1,1208 »	»	0,001097	0,33091
Jodholzäther	C_2H_6J	43,8 »	1,03027 »	25	0,001176	0,28216
Schwef.kohlenst.	CS_2	47,9 »	1,02409 »	20	0,001176	0,28581
Alkohol	$C_4H_{12}O_2$	78,4 Kp	1,02128 »	»	0,001042	0,28582
»	»	78,3 P	1,02166 P	»	0,001060	0,28892
Aldehyd	$C_4H_8O_2$	20,8 Kp	1,03372 Kp	»	0,001347	0,28960
Fuselölalkohol	$C_{10}H_{24}O_2$	131,4 M	1,02272 M	25	0,000888	0,28935
»	»	131,1 Kp	1,01840 Kp	20	0,000905	0,29298
Holzgeist	$C_2H_8O_2$	65,5 »	1,02319 »	»	0,001135	0,29332
Jodäther	$C_4H_{10}J$	70,0 P	1,02880 P	25	0,001120	0,29434
Ameisensäure	$C_2H_4O_4$	105,3 Kp	1,02016 Kp	20	0,000988	0,29446
Bromholzäther	C_2H_6Br	13,0 P	1,01460 P	10	0,001431	0,29561
Bromaelayl	$C_4H_8Br_2$	132,6 »	1,02398 »	25	0,000921	0,29877
Chloraelayl	$C_4H_8Cl_2$	84,9 »	1,02811 »	»	0,001094	0,30153
Titanchlorid	$TiCl_2$	136,0 »	1,02373 »	»	0,000926	0,30241
Bromäther	$C_4H_{10}Br$	40,7 »	1,03363 »	»	0,001316	0,30390
Bromphosphor	PBr_3	175,3 »	1,02124 »	»	0,000832	0,30398

Digitized by Google

Körper.	Zusammeng setzung	Siede-punkt.	Volum bei t'^0. Das Volum bei $0^0 = 1$.	t'.	*K*.	*S*.
Chlorphosphor	PCl_3	78,3 P	1,02926 P	25	0,001137	0,30493
Chlorarsen	$AsCl_3$	133,8 »	1,02460 »	»	0,000960	0,30954
Chlorsilicum	$SiCl_3$	59,0 »	1,03265 »	»	0,001265	0,31275
Ameisenholzäth.	$C_4H_8O_4$	33,4 Kp	1,02916 Kp	20	0,001416	0,31314
Benzol (Benzin)	$C_{12}H_{12}$	80,4 »	1,02410 »	»	0,001177	0,31495
Essigsäure	$C_4H_8O_4$	117,3 »	1,02129 »	»	0,001042	0,31673
Essigholzäther	$C_6H_{12}O_4$	56,3 »	1,02710 »	»	0,001319	0,31959
Bromsilicum	$SiBr_3$	153,4 P	1,02391 P	25	0,000934	0,31752
Quecksilber	Hg	350	1,004520 R	»	0,001795	0,10661

Die Buchstaben Kp, P und M in den Columnen 3 und 4 bedeuten: Kopp, Pierre und das Mittel zwischen Beiden.

Aus dieser Tafel, wie aus der Formel (16) geht hervor, daſs *S* für Körper von gleichem System gleichen Werth besitzt.

Vielleicht könnte man sich der Formel (16), bedienen, um den Siedpunkt eines Körpers zu berechnen, wo man diesen Punkt nicht direct beobachten kann.

Seyen *A* und *B* zwei Körper, die (was man in einigen Fällen im Voraus wissen kann) zu gleichem Ausdehnungssystem gehören, und man kenne den Siedpunkt (*E*) von *A*, und die Dichtigkeiten von *A* und *B* bei irgend zwei Temperaturen, so wird man, wenigstens annäherungsweise, den Siedpunkt (*e*) von *B* berechnen können.

Z. B. Sey Chlorphosphor der Körper *A*, und Bromphosphor der Körper *B*. Aus der Tafel IV. findet man, daſs *S* für *A* ist $=0{,}30493$ und *k* für $B = 0{,}000832$. Der Siedpunkt *e* für *B* ist also gegeben durch die Formel:

$$e = (0{,}30493 - 1)m + \frac{0{,}30493}{0{,}000832} = 176{,}6 \quad \ldots \quad (17).$$

Die directe Beobachtung (siehe Tafel IV) gab 175°,3.

Nimmt man ebenso für *A* den gewöhnlichen Aether und für *B* den schwefligsauren Aether, so findet man:

$$e = (0{,}33374 - 1)m + \frac{0{,}33374}{0{,}000974} = 160{,}7 \quad \ldots \quad (18).$$

Die directe Beobachtung gab 160°,3.

Digitized by Google

Es wäre möglich, daſs die Metalle zum Quecksilbersystem gehörten; nähme man überdieſs an, der Gang ihrer Ausdehnung änderte sich nicht durch die Liquefaction, so würde man den Siedpunkt dieser Körper berechnen können.

Obgleich diese beiden Voraussetzungen nicht geprüft werden können, und die zweite nicht einmal bei einigen Metallen wahrscheinlich ist, so habe ich es doch nicht für überflüssig gehalten, einige Rechnungen darüber anzustellen, die in der folgenden Tafel zusammengestellt sind.

Tafel V.

Metalle.	Linearer Ausdehnungscoëfficient.		Cubischer Ausdehnungs-coëfficient.	*e*.
Platin	0,00000856	B	0,00002568	3907
Weiches Eisen	0,00001220	LL	0,00003660	2669
Wismuth	0,00001391	S	0,00004173	2311
Kupfer	0,00001717	LL	0,00005151	1826
Kapellensilber	0,00001909	»	0,00005725	1617
Indisches Zinn	0,00001937	»	0,00005811	1590
Zinn von Falmouth	0,00002173	»	0,00006519	1391
Zinn, feines	0,00002283	S	0,00006849	1312
Blei	0,00002848	»	0,00008544	1003
Zink	0,00002941	»	0,00008823	964

Diese Rechnungen sind nach folgender Formel ausgeführt

$$e = (0{,}10661 - 1)m + \frac{0{,}10661}{k} \quad . \; . \; . \; (19).$$

Von den Buchstaben in der dritten Spalte bezeichnen *B*: Borda, *S*: Smeaton und *LL*: Lavoisier und Laplace.

Das allgemeine Resultat dieser Rechnungen scheint mir dem ganz zuwider zu seyn, was wir uns von den hohen Temperaturen einbilden könnten, bei denen die Metalle schmelzen. Das Zink z. B., welches man zuweilen destillirt, würde bei 964° sieden, das fast unschmelzbare Platin dagegen bei 3907°. Der Siedpunkt des Wismuths scheint wohl zu hoch zu seyn, allein da dieses Metall sich beim

Digitized by Google

Erstarren ausdehnt, wie das Wasser, so ist die zweite der vorhergehenden Voraussetzungen nicht anwendbar auf dasselbe. Uebrigens bieten diese Resultate, isolirt genommen, nichts Zuverlässiges dar. Es verhält sich fast mit ihnen, wie mit den Hypothesen, die man zuweilen über die Phänomene des Lebens auf der Oberfläche des Himmelskörpers gemacht hat.

Aus der Formel

$$\frac{m+E}{m+\frac{1}{K}}=S \quad (15)$$

folgt die:

$$K=\frac{1}{\left(\frac{1}{S}-1\right)m+\frac{1}{S}E} \quad \ldots \; (20).$$

Und setzt man in dieser:

$$\frac{1}{S}-1=n \quad \ldots \; (21),$$

so erhält man die Formel:

$$K=\frac{1}{nm+(n+1)E} \quad \ldots \; (22).$$

Setzt man für das Aethersystem (siehe Tafel IV) $S=0{,}33333=\frac{1}{3}$ und für das Quecksilbersystem $S=0{,}11111=\frac{1}{9}$, so hat man:
für das Aethersystem:

$$K=\frac{1}{2m+3E} \quad \ldots \; (23)$$

und für das Quecksilbersystem

$$K=\frac{1}{8m+9E} \quad \ldots \; (24).$$

Man kann Körper voraussetzen, die zu einem dieser beiden Systeme gehörten, die bei 0° sieden würden; dann verschwände E und die beiden letzten Formeln gingen über in:

$$K=\frac{1}{2m} \quad \ldots \; (25); \qquad K=\frac{1}{8m} \quad \ldots \; (26).$$

(Uebrigens, wenn $E=0°$ ist, wird $K=Q$.)

Es scheint also, daſs in einigen Ausdehnungssystemen die Coëfficienten der Flüssigkeiten in einfachem Verhältniſs

zum Ausdehnungscoëfficienten der Dämpfe stehen. Bei den beiden Systemen des Aethers und des Quecksilbers wäre dieſs Verhältniſs $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{8}$.

Die Formel (22) erklärt die längst beobachtete Thatsache, daſs im Allgemeinen eine Flüssigkeit sich desto stärker ausdehnt, je niedriger ihr Siedpunkt ist; eine Thatsache, die übrigens nur bei Körpern von gleichen Systemen stattfinden kann.

Dieselbe Formel erklärt auch die groſse Ausdehnbarkeit der zum flüssigen Zustande zurückgeführten Gase, für welche E negativ wird.

Aus den Formeln (5) und (22) folgt:

$$Q = \frac{1}{(m+E)n} \quad . \; . \; . \; (27)$$

und aus dieser letzteren scheint man schlieſsen zu dürfen, daſs E nicht tiefer als $-m$ sinken kann, weil sonst Q unendlich würde.

Die erwähnten Formeln können, glaube ich, dazu dienen, zu beurtheilen, welchen Grad von Genauigkeit die Betrachtungen und Untersuchungen von Kopp, Schröder und Anderen über die Atomvolume haben. Obgleich z. B. das Volum des Sauerstoffs in den Metalloxyden durch eine ziemlich groſse Zahl von Versuchen und Betrachtungen zu 32 oder 33 bestimmt zu seyn scheint, so könnte man doch immer wegen der Methode, durch welche man diese Zahl bestimmte, einigen Zweifel daran hegen. In der That hat man die Atomvolume der Körper bei gleicher Temperatur verglichen, obwohl zwischen ihren respectiven Siedpunkten Abstände von mehren Hunderten von Graden vorkommen.

Indeſs läſst sich zeigen, daſs wenn die Metalle und ihre Oxyde zu dem Quecksilbersystem gehören, oder, um so mehr, wenn für diese Körper der Werth von S geringer als $\frac{1}{9}$ ist, die Atomvolume derselben bei gewöhnlicher Temperatur ungefähr in gleichem Verhältniſs stehen wie bei ihren respectiven Siedpunkten, sobald man überdieſs an-

nimmt, daſs diese Siedpunkte, wie es im Allgemeinen der Fall ist, sehr hoch seyen.

Denn nennt man das Volum eines Körpers bei E^{o} (das bei $0^{o}=1$) Volum E, so kann dieſs ausgedrückt werden durch die Formel:

$$\text{Vol. } E=\frac{1}{1-EK} \quad \ldots (28).$$

Dann kann aus der Formel:

$$K=\frac{1}{\left(\frac{1}{S}-1\right)m+\frac{1}{S}E} \quad \ldots (20)$$

hergeleitet werden

$$\frac{1}{1-EK}=\frac{m+\frac{E}{1-S}}{m+E} \quad \ldots (29).$$

Wenn in dieser letzten Formel E unendlich groſs wird, führt sie zu dem Schluſs:

$$\text{Vol. } E=\frac{1}{1-EK}=\frac{1}{1-S} \quad \ldots (30).$$

Für einen zum Quecksilbersystem gehörigen Körper kann Vol. E nicht übersteigen den Werth von:

$$\frac{1}{1-S}=\frac{1}{1-\frac{1}{9}}=1{,}125.$$

Das Volum eines solchen Körpers bei E wird nach Umständen folgende Werthe annehmen:

Ist E:	Wird Vol. E:
1000°	1,098
2000	1,109
3000	1,111
∞	1,125.

Es steht also zu glauben, daſs der Sauerstoff in einem zum Siedpunkt gebrachten Metalloxyd ein Atomvolum von nahe $32 \times 1{,}125=36$ haben werde.

Der Genauigkeitsgrad der Untersuchungen über die Atomvolume wird nothwendig viel geringer seyn bei den Körpern, bei denen S einen gröſsern Werth hat und deren

Digitized by Google

Siedpunkte nicht so hoch sind. Dieſs gilt im Allgemeinen von den Verbindungen der Metalle mit Chlor und Brom.

Nimmt man für diese Körper $S = 0{,}30$ an, (siehe Tafel IV) so erlangt Vol. E folgende Werthe:

$E.$	Vol. $E.$	$E.$	Vol. $E.$
100	1,114	1000	1,336
200	1,181	1500	1,362
300	1,224	2000	1,377
500	1,274	∞	1,428
700	1,308		

Für diese Körper stehen also die Volume bei gewöhnlicher Temperatur nicht in demselben Verhältniſs wie bei den Siedpunkten.

Die Atomvolume zweier Körper A und B, die zu gleichem Ausdehnungssystem gehören und eine gleiche Ausdehnung und Verdichtung besitzen, stehen (wenn $Atv.\ 0^\circ . A$ das Atomvolum von A bei 0° C., und Atv. $E . A$ das Atomvolum von A bei E bezeichnet u. s. w.) in folgendem Verhältniſs:

$$\frac{Atv.\, 0^\circ . A}{Atv.\, 0^\circ . B} = \frac{(m+E)^2}{(m+e)^2} \times \frac{K}{k} \quad \ldots \ (31).$$

D. h. die Atomvolume von A und B bei 0° stehen im quadratischen Verhältnisse der um m erhöhten Siedtemperaturen, multiplicirt mit dem Verhältniſs der Coëfficienten K und k.

Die Formel (31) ergiebt sich durch folgendes Raisonnement: Die Thatsache der Gleichheit in der Ausdehnung und Verdichtung drückt sich aus durch die Formel:

$$\frac{Atv.\, E . A}{Atv.\, e . B} = \frac{m+E}{m+e} \quad \ldots \ (32).$$

Dann hat man aus den Formeln (2) und (3)

$$Atv.\, E . A = \frac{Atv.\ 0^\circ . A}{1 - EK} \quad \ldots \ (33)$$

und

$$Atv.\ e . B = \frac{Atv.\ 0^\circ . B}{1 - ek} \quad \ldots \ (34).$$

Durch Combination von (33) und (34) erhält man die Formel:

Digitized by Google

$$\frac{Atv.0^{0}.A}{Atv.0^{0}.B}=\frac{Atv.E.A}{Atv.eB}\times\frac{1-EK}{1-ek}\;\ldots\;(35).$$

Substituirt man in (35)

$$\frac{Atv.E.A}{Atv.eB}=\frac{m+E}{m+e}\;\ldots\;(32),$$

so bleibt zu beweisen, daſs sey:

$$\frac{1-EK}{1-ek}=\frac{m+E}{m+e}\times\frac{K}{k}\;\ldots\;(36),$$

was so geschehen kann:

$$1-EK=K\left(\frac{1}{K}-E\right)\;\ldots\;(37)$$

und weil nach Formel (6)

$$\frac{1}{K}-E=\frac{1}{Q}$$

so hat man

$$1-EK=\frac{K}{Q}\;\ldots\;(38)$$

und ebenso

$$1-ek=\frac{k}{q},\;\ldots\;(39)$$

und da nach Formel (14)

$$\frac{Q}{q}=\frac{m+e}{m+E}$$

so kann man folgern

$$\frac{1-EK}{1-ek}=\frac{q}{Q}\times\frac{K}{k}=\frac{m+E}{m+e}\times\frac{K}{k}\;\ldots\;(36).$$

Nehmen wir wiederum die Formel (32):

$$\frac{Atv.E.A}{Atv.e.B}=\frac{m+E}{m+e}.$$

Diese Formel zeigt sogleich eine groſse Analogie zwischen den Atomvolumen der flüssigen Körper und denen der gasigen oder dampfförmigen.

Gesetzt die folgenden Körper wären in Dampfgestalt bei $0^m,70$ und E und man multiplicirte die Atomvolume ihrer Dämpfe mit dem Bruch $\frac{m}{m+E}$, so würde man folgende Gruppen bilden können:

Wasserstoff	1	Volum
Stickstoff	1	»
Sauerstoff	$\frac{1}{2}$	»
Phosphor	$\frac{1}{2}$	»
Schwefel	$\frac{1}{6}$	»

Nichts hindert, dieselbe Operation bei den flüssigen Atomvolumen zu vollziehen. Ich habe dieſs in folgender Tafel dargethan:

Tafel VI.

Körper.	Siedpunkte.	Beobachtete flüssige Volume.	Reducirte Volume.
Aether	35,5	664	588
Schwefligsaurer Aether	160,3	930	586
Zinnchlorid	115,4	827	581
Chloräther	11,0	890	855
Bromäther	40,7	978	851
Jodäther	70,0	1075	855
Wasser	100	117	86
Quecksilber	350	98	43

Die *reducirten Volume*, Columne 4, bedeuten die Volume, welche fingirte Körper bei 0° haben würden, wenn sie bei 0° siedeten und zu denselben Ausdehnungssystemen gehörten, wie die Körper der Columne 1. Die reducirten Volume sind erhalten, in dem man das bei E beobachtete flüssige Volum mit dem Bruch $\frac{m}{m+E}$ multiplicirte.

Vergleicht man die durch die *reducirten Volume* der flüssigen Körper gebildeten Gruppen mit den durch die reducirten Volume der gasigen Körper gebildeten, so kann man folgende Verschiedenheiten bemerken:

1) Daſs die Anzahl der Gruppen für die flüssigen Volume weit gröſser zu seyn scheint als für die gasigen Volume.

2) Daſs die einfachen Verhältnisse zwischen den verschiedenen Gruppen (der Flüssigkeiten) nicht immer sehr scharf oder nicht wahrnehmbar sind, was von der Verschiedenheit der Ausdehnungssysteme herrührt.

Digitized by Google

Der Kohlensäure-Aether kocht bei 125°,5, sein Atomvolum bei 19° C. ist gleich $\frac{737,5}{0,975}=756,4$. Nach der Formel (23) ist also das Volum bei $E=874,1$ und dieſs giebt ein reducirtes Volum $=600,0$.

Der Oxaläther siedet bei 184°, sein Atomvolum bei 7° ist $=\frac{912,5}{1,0929}=834,9$. Das Volum bei E ist also $=912,4$ und dieſs giebt ein reducirtes Volum $=545,5$.

Da die Bestimmungen dieser beiden Körper bei 19° C. und bei 7° schon alt sind, und jede derselben auf einem einzigen Versuch beruht, so wird es wahrscheinlich, daſs beide Körper eine gleiche Ausdehnung besitzen wie der gewöhnliche Aether, dessen reducirtes Volum $=588$ ist (siehe Tafel VI).

Ich werde also annehmen, daſs die drei Körper: der gemeine Aether, der Kohlensäureäther und der Oxaläther, eine gleiche Ausdehnung haben, wie sie eine gleiche Condensation haben und zu gleichem Ausdehnungssystem gehören. Sie alle enthalten einen selben Körper, $C_4H_{10}O$, und es herrscht also unter ihnen in jeder Beziehung eine groſse Analogie.

Berechnet man die Dichte dieser Körper als Dampf bei 0,76 und E, dabei die Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac als gültig angesehen, auch $O=\frac{1}{2}$ und $a=0,00366$ angenommen, so erhält man:

$$C_4H_{10}O \qquad \frac{4,625}{1+35,5.a}=4,093$$

$$C_4H_{10}O,\ CO_2 \qquad \frac{7,375}{1+125,5.a}=5,035$$

$$C_4H_{10}O,\ C_2O_3 \qquad \frac{9,125}{1+184.a}=5,453.$$

Die drei Zahlen 4,093, 5,035 und 5,453 verhalten sich wie 15, 18,4 und 19,9; und andererseits werden die Mengen der Atome C, H, O in diesen Körpern ausgedrückt durch 15, 18 und 20. Möglicherweise wäre diese Coïncidenz nicht zufällig, vielmehr könnten diese beiden Verhältnisse von einander abhängig seyn. Und dieſs wird um so wahrscheinlicher, wenn man erwägt, daſs die Anzahl der

Digitized by Google

Atome im Aether und im Wasser durch das Verhältniſs $\frac{15}{3}=5$ ausgedrückt wird, und die Dichtigkeiten der Dämpfe beider Körper (bei E und $0^m,76$) im Verhältniſs $\frac{4,095}{0,823}=4,9$ stehen.

Es giebt viele Körper $pC+qH_1+rO$, deren Siedpunkt durch die Hypothese erklärt werden kann, daſs die Dampfdichte bei $0^m,76$ und E sey $=p+q+r$, d. h. deren beobachteter Siedpunkt zusammenfällt mit dem berechnet nach der Formel:

$$E=-m+(m+100)\frac{a}{3(p+q+r)} \quad . \; . \; . \; (40),$$

in welcher $(m+100)$ der Siedpunkt des Wassers und a das Atomgewicht des Körpers $pC+qH_1+rO$ ist $(H_2=1)$.

Die folgende Tafel enthält mehre dieser Körper:

Tafel IV.

Körper.	Zusammensetzung C.	Zusammensetzung H_1.	Zusammensetzung O.	E. berech.	E. beob.	Beobachter.
Wasser		2	1	100	100	
Toluöl	14	16		108,3	109	109 bis 110,5 Noad
Anisöl	14	16	2	146,6	152	Cahours
Brenzschleimäther	14	16	6	210,6	209	208 bis 210 Malaguti
Cinnamin	16	16		131,1	137	135 bis 140 Schröder's Angabe
Salicyls. Methyl	16	16	6	224,4	220	Regnaults Angabe
Gaultherinöl	16	16	6	»	»	Cahours
Benzoës. Methyl	16	16	4	196,7	198,5	Mitscherlich's Angabe
Aethyl	4	10		— 15,5	— 14,0	+ 3 bei $2\frac{1}{4}$ atm. Frankland
Aether	4	10	1	33,6	35,5	
Kohlens. Aether	5	10	3	134,5	125,5	Dumas
Oxalsaurer Aether	6	10	4	180,8	182	180 bis 184 verschiedene Beobachter
Metaceton	6	10	1	85,3	84	Regnault's Angabe
Holzgeist	4	8	2	58,3	65,5	
Butters. Methyl	10	20	4	100	98	95,5 Kopp 102 Pierre
Spirol	12	12	2	176,5	187	187 bis 188 Laurent
Benzoësäure	14	12	2	232,7	239	Mitscherlich's Angabe
Coumarin	18	12	4	261,0	270	Regnault's Angabe
Camphron	30	44	1	75,1	75	Fremy
Pseudoessigsäure od. Propionsäure	6	12	4	145,2	140	Liebig und Kopp's Jahresbericht 1848 und 1849

Digitized by Google

Der Siedpunkt des Aethyls ($C_4 H_{10}$) $=14,0$ ist berechnet nach dem Versuch von **Frankland**, welcher bei $+3^0$ C. eine Spannung von $2\frac{1}{4}$ Atmosphären gefunden hat, und nach der Formel (7), unter der Annahme, daſs beim Wasserdampf die Temperatur 124,6 einer Spannung von $2\frac{1}{4}$ Atmosphären entspreche.

Zu bemerken ist, daſs die Körper der Tafel VII nur dann eine Dichtigkeit $=p+q+r$ haben, wenn sie zu zwei Volumen verdichtet sind. Bei denen die zu vier Volumen verdichtet sind, ist die Dichte bei E und $0^m,76=\frac{1}{2}(p+q+r)$.

Drückt man allgemein die Dampfdichte der Körper $pC+qH_1+rO$ bei $0^m,76$ und E durch $n\ (p+q+r)$ aus, und nimmt als Einheit $\frac{1}{3}$ der Dichte des Wasserdampfs bei 100° C. und $0^m,76$, so findet man sehr oft $n=\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$ oder sonst gleich einem einfachen Verhältniſs.

Es ist bemerkenswerth, daſs die Formel (40) auf den Kohlensäure- und den Oxaläther paſst, nicht aber auf den Essig- und den Ameisenäther. Ich bemerke zuvörderst, daſs die Verdichtung der beiden ersten Aether von zwei Volumen ist, die der beiden letzteren aber von vier. Die *Ausdehnung* ist beim gemeinen Aether, beim Kohlensäure- und Oxaläther dieselbe, gleich 237, die Ausdehnung des Essigäthers aber 264, und die des Ameisenäthers 317. Indeſs giebt es eine merkwürdige Coïncidenz zwischen der eben erwähnten Zahl n und dem Verhältniſs ihrer *reducirten Atomenvolume*, verglichen mit dem des gemeinen Aethers.

In der That nimmt man für den Essigäther $C_8 H_{16} O_4$ an: $E=74,3$ (**Kopp**), so findet man die Dichte, statt 28, gleich $\frac{9}{16}\times 28=15,75$. Das flüssige Volumen bei E ist nach **Kopp** $=1208$. Das reducirte Volum ist also 1056. Das des gemeinen Aethers (siehe Tafel VI) ist 588 und $\frac{588}{1055}=\frac{9}{16,1}$.

Ebenso findet man für den Ameisenäther $C_6 H_{12} O_4$, wenn man $E=54,9$ (**Kopp**) und das Volum bei $E=1059$ (**Kopp**) annimmt, das reducirte Volum $=882$. Die Dichte,

Digitized by Google

die nach der Hypothese $=6+12+4=22$ seyn müſste, ergiebt sich durch den Versuch $=14$. Und:

$$n=\frac{14}{22}=0{,}63;\quad \frac{588}{882}=0{,}66.$$

Bei den Dämpfen ergiebt sich also die Ausdehnung (zufolge der Hypothese) aus dem Vergleich der *reducirten Volume* der Flüssigkeiten. Da diese Verhältnisse von einander unabhängig sind, da das erstere sich auf eine Hypothese stützt, und das letztere auf Beobachtungen beruht, sie aber dennoch übereinstimmen, so muſs dadurch die Wahrscheinlichkeit der Hypothese erhöht werden.

Ich glaube noch bemerkt zu haben, daſs das Verhältniſs n zuweilen einen gleichen Werth hat bei allen Körpern einer selben Gruppe.

Wenn man so z. B. für die folgenden Körper eine Verdichtung von vier Volume annimmt, und die beobachteten Siedpunkte, von denen viele einer Bestätigung und wahrscheinlich einer Berichtigung bedürfen, anwendet, so findet man nachstehende Resultate:

Tafel VIII.

Körper.	Zusammen-setzung.	Sied-punkte.	Dichtigkeit ber.	Dichtigkeit beob.	Verhältniſs n.
Amyläther	$C_{10}H_{22}O$	110	33	12,8	0,38
Amyloxydhydrat	$C_{10}H_{22}O, H_2O$	131	36	13,5	0,37
Oxalsaurer Amyläther	$C_{10}H_{22}O, C_2O_3$	260	38	13,4	0,35
Kohlenstoffs. Amyläther	$C_{10}H_{22}O, CO_2$	224	36	12,6	0,35
Amylsäure	$C_{10}H_{19}O_3, H_2O$	175	34	14,2	0,41

Der Aether $C_4H_{10}O$ hat eine Dichte $=15$; das Aethyl C_4H_{10} eine $=14$. Die beiden Körper sind um ein Atom Sauerstoff verschieden und ihre Dichtigkeit um eine Einheit.

Dieselben Unterschiede lassen sich bei den Säuren SO_2 und SO_3 bemerken, deren Dichten 15 und 16 sind, wenn man als Siedpunkt -8° und $+37^{\circ},8$ annimmt.

Rotterdam, den 30. Nov. 1851.

Digitized by Google

VI. *Ueber die Höhe der Gipfel des Monte-Rosa; von Adolph Schlagintweit und Hermann Schlagintweit.*

Es ist für die orographische Structur des Monte-Rosa sehr charakteristisch, daſs derselbe aus einer Reihe von neun Gipfeln besteht, welche in einem langen und sehr hohen Kamm vereinigt sind; derselbe ist vom Weiſsthorpaſs und vom *Col Delle Piscie* begränzt [1]); seine mittlere Richtung geht von Norden nach Süden. Die Höhe von mehreren Gipfeln war schon durch frühere trigonometrische oder barometrische Messungen bestimmt. Wir selbst haben mit dem Barometer die zwei Pässe gemessen, welche den Kamm begränzen, und unter den Gipfeln die Vincentpyramide und die Höchste Spitze. Es sey uns erlaubt beizufügen, daſs bisher noch keine barometrischen Beobachtungen auf der letzteren Spitze angestellt worden waren. Wir erreichten dieselbe von der Nordostseite, indem wir von Zermatt im Wallis ausgingen.

Wir werden zuerst das Detail der Beobachtungen und Berechnungen für die Höchste Spitze vorlegen und daran die Resultate anreihen, welche wir für die Erhebung der übrigen Gipfel erhalten haben.

1) Wie früher mitgetheilt wurde (Ann. Bd. LXXXVI, S. 583 u. 584) ist das Weiſsthor, der höchste Paſs in den Alpen, 3618 M., 11138 P. F. Der Col delle Piscie liegt unmittelbar neben der Vincenthütte, deren Höhe 3162 M., 9734 P. F. ist.

Digitized by Google

Höchste Spitze des Monte-Rosa.

Nördl. Breite 45° 55′ 58″. Oestl. Länge von Paris 5° 31′ 47″.

Barometrische Beobachtungen am 22. August 1851.

A. 22. Aug. 12^h 20′ p. m. Barom. red. 438,18 M. M. Lufttemp. — 5,1° C. Befeuchtetes Therm. — 5,5° C. Relative Feuchtigkeit 90.

	Bern.	Genf.	St. Bernhard.	Aosta.	Mailand.	Turin.
Nördl. Breite	46° 57′	46° 12′	45° 50′	45° 44′	45° 28′	45° 4′
Bar. (red.)	716,1 M. M.	728,11 M. M.	569,98 M. M.	711,33 M. M.	750,58 M. M.	739,23 M. M.
Lufttemperatur	20,1° C.	20,2° C.	13,2° C.	23,2° C.	24,2° C.	27,3° C.
Summe der Temp.	15,0° C.=12,0°R.	15,1° C.=12,1°R.	8,1° C.=6,5° R.	18,1°C.=14,5°R.	19,1°C.=15,3°R.	22,2°C.=17,8°R.
Befeuchtetes Therm.	—	16,1° C.	—	—	19,1° C.	—
Haarhygrometer	—	—	78°	68°	—	—
Relative Feuchtigkeit	57 Mittl. F. 73,5	63 Mittl. F. 76,5	58 Mittl. F. 74	46 Mittl. F. 68	60 Mittl. F. 75	57 Mittl. F. 73,5
log. *b*	2,85497	2,86220	2,75586	2,85207	2,87540	2,86878
log. *b′*	2,64165	2,64165	2,64165	2,64165	2,64165	2,64165
u (log. *b* — log *b′*)	0,21332	0,22055	0,11421	0,21042	0,23375	0,22713
log. *u*	9,32903	9,34351	9,05770	9,32309	9,36875	9,35627
A	4,27726	4,27737	4,27141	4,27990	4,28073	4,28335
corr. lat.	— 6	— 4	— 4	— 3	— 3	— 2
	3,60623	3,62084	3,32907	3,60296	3,64945	3,63960
corr. grav.	27	28	15	27	30	30
log. der Meter	3,60650	3,62112	3,32922	3,60323	3,64975	3,63990
	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833
log. der Par. F.	4,09483	4,10945	3,81755	4,09156	4,13808	4,12823

Digitized by Google

	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.
Relative Höhe	4041,1	4179,5	2134,1	4010,8	4464,3	4364,2
Höhe der unteren Stat.	570,8	407,0	2473,0	614,0	147,1	273,0
Localcorr.	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Feuchtigkeitscorr.	15,2	16,5	5,9	15,6	20,5	21,6
Absolute Höhe	4634,2	4610,1	4620,1	4647,5	4639,0	4665,9

	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.
Relative Höhe	12440,3	12866,2	6569,8	12347,0	13743,0	13434,8
Höhe der unteren Stat.	1757,2	1252,9	7613,0	1890,2	452,8	840,4
Localcorr.	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Feuchtigkeitscorr.	46,9	50,9	18,2	48,0	63,0	66,6
Absolute Höhe	14266,4	14192,0	14223,0	14307,2	14280,8	14363,8

Mittel 4636,13 Meter. 14272,2 Par. Fuſs.

B. 22. Aug. 1h p. m. Bar. red. 437,99 M. M. Lufttemperatur — 4,8° B. Befeuchtetes Therm. — 5,2° C. Relative Feuchtigkeit 90.

Barom. (red.)	716,0 M. M.	727,89 M. M.	569,99 M. M.	711,46 M. M.	750,32 M. M.	738,97 M. M.
Lufttemperatur	20,5° C.	20,7° C.	13,3° C.	23,4° C.	21,9° C.	27,4° C.
Summe der Temp.	15,7° C.=12,6° R.	15,9° C.=12,7° R.	8,5° C.=6,8° R.	18,6° C.=14,9° R.	20,1° C.=16,1° R.	22,6° C.=18,1° R.
Befeuchtetes Therm.	—	16,4° C.	—	—	19,9° C.	—
Haarhygrometer	—	—	78°	69°	—	—
Relative Feuchtigkeit	57 Mittl. F. 73,5	62 Mittl. F. 76	58 Mittl. F. 74	47 Mittl. F. 68,5	61 Mittl. F. 75,5	57 Mittl. F. 73,5
log. *b*	2,85491	2,86207	2,75587	2,85215	2,87525	2,86863
log. *b'*	2,64146	2,64146	2,64146	2,64146	2,64146	2,64146
u (log. *b* — log. *b'*)	0,21345	0,22061	0,11441	0,21069	0,23379	0,22717

Digitized by Google

	Bern.	Genf.	St. Bernhard.	Aosta.	Mailand.	Turin.
log. *u*	9,32930	9,34363	9,05846	9,32364	9,36883	9,35635
A	4,27790	4,27800	4,27173	4,28032	4,28157	4,28366
corr. lat.	— 6	— 4	— 4	— 3	— 3	— 2
	3,60714	3,62159	3,33015	3,60393	2,65037	3,63999
corr. grav.	27	28	15	27	30	30
log. der Meter	3,60741	3,62187	3,33030	3,60420	3,65067	3,64029
	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833
log. der Par. F.	4,09574	4,11020	3,81863	4,09253	4,13900	4,12862
	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.
Relative Höhe	4049,6	4186,7	2139,4	4019,8	4473,7	4368,1
Höhe der unteren Stat.	570,8	407,0	2473,0	614,0	147,1	273,0
Localcorr.	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Feuchtigkeitscorr.	15,8	17,0	5,9	16,1	21,4	21,9
Absolut. Höhe	4643,3	4617,8	4625,4	4657,0	4649,3	4670,1
	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.	Par. Fuſs.
Relative Höhe	12466,4	12888,4	6586,1	12374,6	13772,1	13446,8
Höhe der unteren Stat.	1757,2	1252,9	7613,0	1890,2	452,8	840,4
Localcorr.	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Feuchtigkeitscorr.	48,5	52,4	18,2	49,7	65,7	67,5
Absolute Höhe	14294,1	14215,7	14239,3	14336,5	14312,6	14376,7

Mittel 4643,82 Meter. 14295,8 Par. Fuſs.

Mittel aus beiden Beobachtungen 4640 Meter, 14284 Par. Fuſs, 2380,7 Toisen.

Bemerkung. Die geographischen Positionen sind die Mittel aus den Beobachtungen von Oriani, Carlini, Coraboeuf u. v. Welden. Für Bern und Turin, von denen wir keine Beobachtungen über die Feuchtigkeit an diesem Tage hatten, wurde dieselbe = 57 angenommen, was das Mittel aus den vier anderen Stationen ist.

Die Localcorrection von 7,1 M. = 22 P. F., welche in der vorhergehenden Berechnung angebracht wurde, ist durch folgenden Umstand nöthig geworden. Der sehr schmale und kurze Kamm, welcher die Höchste Spitze des Monte-Rosa bildet, hat ganz oben zwei kleine Hervorragungen; wir glaubten anfangs, sie hätten gleiche Höhe; wir überzeugten uns aber, als wir diesen Kamm erstiegen hatten, dafs die Spitze *A*, welche in geringer Entfernung westlich von uns lag etwas höher war, als die Spitze *B* auf der wir uns befanden. Wir waren von der erstern durch einige Einzahnungen im Kamme, die theilweise mit Eis überzogen waren, getrennt; dieses und die allgemeine Steilheit des Terrains verhinderten uns bis dorthin vorzugehen.

Wir bestimmten diese geringe Höhendifferenz auf zweierlei Weise. Auf dem Gipfel selbst fanden wir, dafs der vierte Theil der Differenz, den wir mit dem Verticalkreise schätzten und durch eine horizontale Linie auf unseren Stock projicirten = 5 Fufs war, was im Ganzen 20 Fufs ergeben würde; dann wiederholten wir die Bestimmung dieser Gröfse, indem wir am Fufse der steilen Wände der höchsten Spitze bei 4528 M. auf dem Schnee eine kleine Basis mafsen; dieses Verfahren ergab uns 24 Fufs für die Höhendifferenz zwischen den beiden kleinen Spitzen *A* und *B*. Wir haben daher für die letztere, auf der unser Barometer aufgestellt war im Mittel eine Localcorrection von 22 Fufs = 7,1 M. angenommen.

Die Höhe dieses Gipfels war zu wiederholten Malen trigonometrisch bestimmt worden, nämlich von Saussure, Oriani, Carlini und Plana, Coraboeuf, v. Welden und Berchtold. Delcros hat (*Ann. météor. de la France* 3. Jahrg.) ein Mittel aus sämmtlichen trigonometrischen Beobachtungen abgeleitet und dafür 4639,6 M. erhalten [1]).

1) Saussure erhielt 2430 Toisen = 4736 M. Diese Zahl, welche offenbar zu hoch ist, wurde nicht in das oben angeführte trigonometrische Mittel aufgenommen. Die Höhe, welche Domherr Berchtold fand, ist 4637 M. Sie war, als Hr. Delcros sein Mittel berechnete, noch nicht publicirt, sie würde jedoch dasselbe nicht um einen Meter ändern.

Die Resultate unserer barometrischen Bestimmungen stimmen demnach ungemein gut mit dem trigonometrischen Mittel überein. Wir dürfen dieses günstige Verhältniſs wohl dem Umstande zuschreiben, daſs bereits mehrere Tage vorher ein sehr gleichmäſsiges Wetter geherrscht hatte und daſs unsere correspondirenden Stationen den Monte-Rosa nach allen Seiten und in sehr verschiedenen Höhen umgaben. Die gröſsten Abweichungen von dem mittlern Resultate, welche die Berechnungen nach den einzelnen Stationen zeigen, betragen ±30 M.

Man erhält demnach für die Höhe des Monte-Rosa, welcher nach dem Mont-Blanc der höchste Punkt der Alpen ist, im Mittel aus den trigonometrischen und barometrischen Messungen

4640 M. 14284 Par. F. 2380,7 Toisen. —

Die Barometerbeobachtungen auf dem Gipfel der Vincentpyramide wurden am 12. Sept. 1^h p. m. ausgeführt; wir fanden

Barometer auf 0 reducirt 459,80 M. M.
Temperatur der Luft — 5,0° C.
Befeuchtetes Thermometer — 5,7° C.
Relative Feuchtigkeit 83.

Die Resultate der Berechnungen nach den einzelnen correspondirenden Stationen ergaben folgende Höhen:

	Meter.	Par. F.		Meter.	Par. F.
Vincenthütte	4229,6	13020,5	Aosta	4242,5	13060,3
Genf	4222,2	12997,9	Mailand	4220,1	12991,1
St. Bernhard	4205,6	12946,8	Turin	4224,2	13003,8.

Mittel 4224 M. 13003 Par. F. 2167,2 Toisen.

Wir haben noch in der folgenden Tabelle die Resultate für die übrigen Gipfel des Monte-Rosa zusammengestellt. Diese mittleren Werthe sind theils aus den früheren Bestimmungen von v. Welden und Zumstein, theils aus einigen Winkeln abgeleitet, welche wir selbst auf den Firnmeeren in der Nähe der Gipfel gemessen haben. Wir werden später Gelegenheit haben die näheren Erörterungen

der verschiedenen Beobachtungen mitzutheilen. Die Gipfel folgen sich von Norden nach Süden.

		Meter.	Par. F.			Meter.	Par. F.
1.	Nordende	4597	14153	5.	Parrotspitze	4440	13668
2.	Höchste Spitze	4640	14284	6.	Ludwigshöhe	4337	13350
3.	Zumsteinspitze	4569	14064	7.	Schwarzhorn	4295	13220
4.	Signalkuppe	4562	14044	8.	Balmenhorn	4245	13070
				9.	Vincentpyramide	4224	13003.

VII. *Versuch, die Ursache der Thermo-Elektricität zu erklären; von A. F. Svanberg.*

(Aus einer zu Upsala besonders erschienenen akademischen Gelegenheitsschrift, die, vor längerer Zeit vom Hrn. Verf. mitgetheilt, schon zur Aufnahme in Bd. 85 d. Ann. bestimmt war, bisher aber noch nicht Platz finden konnte.)

Die nächste Ursache aller elektrischen Ströme ist das, was man elektromotorische Kraft nennt. Sie scheint gleichbedeutend oder wenigstens proportional zu seyn mit der Summe aller Unterschiede, welche, an den Berührungsstellen der in der geschlossenen Kette befindlichen heterogenen Körper, zwischen den elektrischen Dichtigkeiten stattfinden. Diese Ansicht scheint nämlich theils an sich natürlich, und ist auch theils durch die von Kohlrausch an der Daniell'schen Kette ausgeführten Messungen bestätigt worden.

Versucht man diese Ansicht zur Erklärung der thermoelektrischen Erscheinungen anzuwenden, so scheint es bei erster Betrachtung unmöglich zu seyn. Denn das für Metalle geltende elektromotorische Gesetz lautet: *Mittelbare oder unmittelbare metallische Berührung giebt gleichen Unterschied in deren elektrischen Dichtigkeit.* In einer geschlossenen Kette von lauter Metallen würde also die Kraft welche die Elektricität an einer Stelle in Circulation versetzte, gleich seyn mit der Kraft, welche sie in entgegen-

gesetzter Richtung forttriebe, und folglich würde kein andauernder Strom entstehen können.

Bekanntlich ist die Contact-Elektricität äuſserst schwach, so daſs sie bloſs nach Vergröſserung durch Multiplication mittelst eines Condensators gemessen werden kann. Wenn sie deſsungeachtet eine groſse Menge circulirender Elektricität, d. h. einen starken Strom, zu geben vermag, so rührt dieſs wohl von der groſsen Schnelligkeit her, mit welcher die Elektricität sich in der Kette bewegt. Aber Keiner darf sich darüber wundern, daſs man nicht im Stande war, mit demselben Instrument (dem Condensator) die kleinen Variationen wahrzunehmen, welche die an sich schon so unbedeutende Contact-Elektricität aller Wahrscheinlichkeit nach mit der Temperatur erleidet. Denn mehr als dieser Annahme bedarf es nicht, um die Ursache der thermo-elektrischen Ströme zu erklären. Daſs die thermo-elektromotorische Kraft sehr schwach ist, wissen wir aus Pouillet's und Wheatstone's übereinstimmenden Messungen; beide fanden dieselben bei einem Temperatur-Unterschiede von 100 Graden C. zwischen den Löthstellen einer Thermokette aus Wismuth und Antimon nur gleich $\frac{1}{95}$ der elektromotorischen Kraft einer Daniell'schen Kette. Wegen dieser geringen Triebkraft wird der entstehende elektrische Strom unmerklich, so bald nicht der Widerstand äuſserst gering ist, was der Fall ist bei den bloſs metallischen Ketten, wo der thermo-elektrische Strom hat beobachtet werden können.

Daſs die Contact-Elektricität zwischen zwei Körpern *A* und *B* ihren Werth ändert mit der Temperatur, könnte möglicherweise dadurch geschehen, daſs *A* und *B* ihre Stelle in der Contact-Reihe änderten. Mit dieser Annahme allein erklären sich aber die hier in Frage stehenden Erscheinungen noch nicht. Denn die ganze geschlossene Kette wäre nun bloſs als aus heterogenen Metallen bestehend anzusehen, welche nach dem angenommenen Contactgesetz nicht vermögen, einen andauernden elektrischen Strom zu bilden.

Gewöhnlich stellt man das Gesetz der Contact-Elek-

tricität so dar, daſs man sagt: wenn A gegen B positiv, und B gegen C positiv ist, die Spannung zwischen A und B gleich $A-B$, und die zwischen B und C gleich $B-C$ ist, sey die Spannung von A und C mit dem dazwischen liegenden Körper B gleich der Summe jener beiden Spannungen, also gleich $A-C$ d. h. gleich solcher, als durch unmittelbare Berührung zwischen A und C entstehen würde.

Dasselbe Resultat erhält man auch, wenn die Spannung zwischen A und B ist $=f(A)-f(B)$. Dadurch wird nämlich die Spannung zwischen B und $C=f(B)-f(C)$, und die Summe beider: $=f(A)-f(C)$ d. h. gleich derselben Spannung, welche durch unmittelbare Berührung zwischen A und C entstehen würde. Ist hiebei die Functionsform f ungleich für verschiedene Temperaturen, so ist dieſs dasselbe, wie wenn man sagte, die elektrische Spannung zwischen A und B bei der Temperatur t sey gleich $f(A, t)-f(B, t)$; es giebt auch bei mittelbarer oder unmittelbarer Berührung dieselbe elektrische Spannung, wenn die Berührungsstellen alle gleiche Temperaturen haben, sonst aber nicht

So wird in der Fig. 7 Taf. II. (Bd. 85 d. Ann.), welche eine Thermokette aus den Metallen A und B vorstellen mag, von deren Löthstellen die eine auf der Temperatur t, die andere auf der Temperatur a gehalten wird, die thermoelektromotorische Kraft:

$$K=f(A, t)-f(B, t)+f(B, a)-f(A, a).$$

Dieser Ausdruck setzt indeſs voraus, daſs A und B ihre Stelle in der Contactreihe nicht ändern, wenn die Temperatur sich ändert. Sind A und B selbst Functionen der Temperatur, so wird im Allgemeinen:

$$K=\int_a^t \frac{d[f(A, \tau)-f(B, \tau)]}{d\tau}.d\tau \quad . \; . \; . \; (1)$$

wo

$$\frac{d[f(A, \tau)-f(B, \tau)]}{d\tau}$$

den partiellen Differential-Coëfficienten bezeichnet, wenn

Digitized by Google

bloſs die Temperatur τ variirt, obwohl nicht dasjenige τ, welches *implicite* in A und B enthalten ist. Die Betrachtungen hier wiederzugeben, welche mich zum vorstehenden allgemeinen Ausdruck von K leiteten, halte ich nicht für nöthig.

Wenn τ bloſs *implicite* in A und B eingeht, die Functionsform f aber übrigens unabhängig ist von der Temperatur, so wird in der Formel (1) der partielle Differential-Coëfficient $=0$ und folglich $K=0$, was mit der zuvor gemachten Bemerkung übereinstimmt, daſs diese Annahme allein die Ursache der thermo-elektrischen Ströme nicht zu erklären vermag. Ebenso erhellt, daſs, wenn $t=a$, d. h. beide Berührungsstellen dieselbe Temperatur haben, auch $K=0$ wird, oder kein Strom entsteht, wie wir aus Erfahrung wissen.

Bezeichnen K_1 und K_2 die thermo-elektromotorischen Kräfte zwischen B und C, so wie zwischen A und C, wenn die Berührungsstellen auf denselben Temperaturen a und t gehalten werden, so ist:

$$K_1=\int_a^t \frac{d[f(B,\tau)-f(C,\tau)]}{d\tau}.d\tau$$

$$K_2=\int_a^t \frac{d[f(A,\tau)-f(C,\tau)]}{d\tau}.d\tau,$$

woraus endlich folgt

$$K_2=K+K_1.$$

Diesen Satz hat man schon lange als aus Erfahrung bekannt angesehen; wir sehen hier, daſs die Formel (1) ihn richtig wiedergiebt.

Da K eine Function von a und t ist, so kann man es durch $K(a,t)$ bezeichnen. Nun hat man im Allgemeinen:

$$\int_a^t=\int_a^{\vartheta}+\int_{\vartheta}^t$$

folglich enthält die Formel (1) auch das aus Becquerel's Versuchen bekannte Gesetz:

$$K(a,\ t)=K(a,\ \vartheta)+K(\vartheta,\ t).$$

Neh-

Digitized by Google

Nehmen wir in dem Folgenden an:

$$y' = \int_0^t \frac{df(A, \tau)}{d\tau} . d\tau \quad . \; . \; . \; (2)$$

$$y = \int_0^t \frac{df(B, \tau)}{d\tau} . d\tau \quad . \; . \; . \; (3),$$

und betrachten t als Abscisse, und y' und y als Ordinaten, so wird die Gleichung (2) eine von dem Metalle A, und die Gleichung (3) eine von dem Metalle B abhängige Curve vorstellen, welche beide einander und die Abscissenaxe in dem Punkte E schneiden, dessen Abscisse $OE = a$ ist. (*Siehe* Fig. 8 Taf. II. Bd. 85.)

Ueber die Natur dieser Curven weiſs man nichts, nicht einmal, ob sie gegen die Abscissenaxe convex oder concav seyen. Die Schlüsse indeſs, die wir in dem Folgenden daraus ziehen werden, sind davon unabhängig. Pp, welches $= y' - y$ ist, stellt die thermo-elektromotorische Kraft zwischen A und B vor, und wenn für $t > a$, A positiv ist gegen B, so muſs $PM > pm$ seyn, wie Fig. 8 zeigt. Wollte man eine ähnliche Curve für ein drittes Metall ziehen, welches bei der Temperatur a in der thermo-elektrischen Reihe zwischen A und B läge, so würde dieselbe zwischen EP und Ep liegen.

Sind die Metalle A, B von der Art, daſs die thermo-elektromotorische Kraft, wie z. B. beim Eisen und Kupfer, bei steigendem Werth von t, ein gewisses Maximum erreicht, um hernach wieder abzunehmen, Null zu werden, und sich umzukehren, so daſs A negativ gegen B wird, so müssen die Curven EP und Ep, die durch die Gleichungen (2) und (3) vorgestellt werden, einander in einem zweiten Punkte F schneiden, wie Fig. 9 Taf. II. Bd. 85 zeigt.

Nimmt man nun ein drittes, in der thermo-elektrischen Reihe zwischen A und B liegendes Metall, und errichtet die entsprechende Curve, so wissen wir, daſs sie bei E zwischen den beiden andern liegen muſs. Daraus erhellt nun, daſs die letztere Curve eine der beiden anderen in einem zwischen E und F liegenden Punkt schneiden muſs

Digitized by Google

und allerletzt in *F*. Diese beiden Metalle, deren entsprechende Curven diesen neuen Durchschnittspunkt haben, müssen folglich dieselbe Eigenschaft wie die Metalle *A* und *B* in Fig. 9 besitzen, oder es muſs, bei steigendem Werthe von *t*, eine Temperatur, geringer als die Abscisse des Punktes *F*, geben, bei welcher sich ihre gegenseitige Lage in der thermo-elektrischen Reihe ändert, so daſs der Strom seine Richtung umkehrt; dieſs stimmt vollkommen mit dem, was Hankel aus seinen Versuchen schlieſsen zu müssen glaubte.

Will man nach der vorhergehenden Figur die Curve construiren, deren Ordinate $= y' - y$ oder $= K$ ist, so muſs sie die *t*-Axe in den Punkten *E* und *F* schneiden, und dazwischen muſs es eine Temperatur *Oh* geben, bei welcher die thermo-elektromotorische Kraft ein Maximum *Hh* hat, wie die Fig. 10 Taf. II. Bd. 85 zeigt.

Wenn die Berührungspunkte der Metalle die Temperaturen *a* und *t* haben, so ist die elektromotorische Kraft des entstehenden Stroms, wie wir gesehen

$$= \int_a^t \frac{d[f(A, \tau) - f(B, \tau)]}{d\tau} . d\tau .$$

Ist z. B. $t = b$, so wird sie

$$= \int_a^b \frac{d[f(A, \tau) - f(B, \tau)]}{d\tau} . d\tau .$$

Die elektromotorische Kraft ferner, wenn die eine Löthstelle auf der Temperatur *b* und die andere auf *t* gehalten wird, ist:

$$= \int_b^t \frac{d[f(A, \tau) - f(B, \tau)]}{d\tau} . d\varepsilon .$$

Aber im Allgemeinen ist

$$\int_b^t = \int_a^t - \int_a^b$$

folglich wird die Kraft im letzteren Falle gleich dem Un-

terschiede zwischen den beiden vorhergehenden. Wenn folglich, in Fig. 10, $Op=b$ genommen wird, so erhellt, daſs man die Curve erhalten wird, deren Ordinaten die thermo-elektromotorische Kraft bezeichnen, falls die eine Löthstelle in der Temperatur b und die andere in der t gehalten wird, sobald man von P eine Linie parallel mit der t-Axe zieht, und diese neue Linie zur Abscissenaxe nimmt. Auch erhellt leicht aus der Figur, daſs die Curve die neue Abscissenaxe in einem Punkte schneiden muſs, dessen Abscisse kleiner als OF ist. Die höhere Temperatur, bei welcher die thermo-elektromotorische Kraft vom Positiven ins Negative übergeht, und folglich der elektrische Strom seine Richtung umkehrt, muſs also nach der hier aufgestellten Theorie, nicht unveränderlich seyn, sondern immer desto niedriger, je höher a ist, wenn nur $a < Oh$.

Keiner von Denen, welche über die bei gewissen Thermoketten vorkommende Umkehrung des elektrischen Stroms experimentirt und geschrieben haben, hat je geargwöhnt, daſs diese Umkehrungstemperatur von der Temperatur der andern Löthstelle abhänge. Alle dagegen halten es für sehr interessant, für verschiedene Metallcombinationen diejenige Temperatur kennen zu lernen, bei welcher, wie sie sich äuſsern, das eine Metall, verglichen mit dem anderen, aus dem Positiven ins Negative übergeht. Ist die hier aufgestellte Theorie richtig, so ist die Temperatur Oh, bei welcher die thermo-elektromotorische Kraft ein *Maximum* ist, die alleinig unveränderliche und von wirklichem Interesse.

Daſs die Temperatur OF von a abhänge, ist leicht durch Versuche zu erweisen. Zu dem Zweck lieſs ich an den beiden Enden eines Eisendrahts aBt von einem Fuſs Länge (Fig. 11 Taf. II. Bd. 85) zwei Kupferdrähte löthen, die mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden wurden. Die Löthstelle t wurde nun mittelst einer Lampe erhitzt und zwar so gemäſsigt, daſs der elektrische Strom bei t wohl vom Kupfer zum Eisen ging, aber sehr schwach und nahe am Umschlagen war. Wenn man nun a in eine Schale mit siedend heiſsem Wasser steckte, so zeigte das Galva-

nometer augenblicklich eine Umkehrung des Stroms, während dieser seine ursprüngliche Richtung wieder bekam, so wie man die Schale mit Waſser bei a fortnahm.

Das Ergebniſs dieses Versuchs, welches aus theoretischen Gründen vorauszusehen war, spricht für die Richtigkeit unserer Theorie. Wir sehen, daſs wenn die Temperatur a oder OE (Fig. 10) erhöht wird, OF abnimmt um, bei steigendem Werth von a, mit Oh zusammenzufallen. Ist $a > Oh$, so wird $OF < a$ d. h. die Punkte E und F vertauschen ihre Lage. Nimmt man dagegen stets $t > a$ und a nicht kleiner als Oh, so kann eine Umkehrung des Stroms nicht mehr vorkommen.

Hat man eine Kette aus bloſs einem Metall A, dessen beide Enden die Temperaturen a und t besitzen, so entsteht beim Schlieſsen der Kette auch ein Thermostrom, dessen elektromotorische Kraft ist:

$$k = -\int_a^t \frac{df(A, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(A_t, t) - f(A_a, a) \quad (4),$$

wobei ein positives k einen Strom vom kaltem zum warmen Metall bedeutet, ein negatives k den umgekehrten.

Wäre A unabhängig von τ, so würde diese Formel geben $k = o$. Da aber die Erfahrung zeigt, daſs wirklich ein Thermostrom entsteht, so folgt daraus, daſs das Metall A seine Stelle in der Contactreihe mit der Temperatur verändert.

Bezeichnet k' die elektromotorische Kraft für einen solchen Strom, wenn die Kette bloſs aus dem Metalle B, statt des Metalles A, besteht, so ist ebenso

$$k' = -\int_a^t \frac{df(B, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(B_t, t) - f(B_a, a)$$

woraus

$$k' - k = K + f(A_t, t) - f(A_a, a) - f(B_t, t) + f B_a, a)$$

oder

$$K = k' - k - f(A_t, t) + f(A_a, a) + f(B_t, t) - f(B_a, a).$$

Hieraus erhellt, daſs, wenn man auch weiſs k und k'

seyen positiv oder negativ d. h. die Thermoströme bei A und B seyen vom kalten zum warmen Metall gerichtet, es doch unmöglich ist, das Zeichen von K oder die Richtung des Stroms in Fig. 10 vorauszusagen.

Da die Formel (4) k als Function von a und t zugleich ergiebt, so wollen wir diese Gröſse mit $k(a, t)$ bezeichnen. Dann ist auch:

$$k(a, \vartheta) = -\int_a^{\vartheta} \frac{df(A, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(A_{\vartheta}, \vartheta) - f(A_a, a)$$

$$k(\vartheta, t) = -\int_{\vartheta}^{t} \frac{df(A, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(A_t, t) - f(A_{\vartheta}, \vartheta)$$

und daraus erhält man:

$$k(a, \vartheta) + k(\vartheta, t) = k(a, t).$$

Es ist leicht, bei thermo-elektrischen Strömen dieser Art die Richtung zu beobachten, aber ihre Stärke zu messen, ist schwerlich auszuführen, weil, wenn man die Kette schlieſst, es unmöglich ist, die mit einander in Berührung kommenden Enden auf festen verschiedenen Temperaturen zu erhalten. Daher dürfte es wohl unmöglich seyn, das in der obigen Formel ausgedrückte Gesetz durch Versuche zu prüfen.

In dem Vorhergehenden ist ein Versuch gemacht, die Ursache der dynamischen Thermo-Elektricität zu erklären. Wie wir sehen, giebt diese Formel nicht nur die durch frühere Versuche schon bekannten Gesetze wieder, sondern sie ist auch im Stande verschiedene noch nicht durch Erfahrung bestätigte vorauszusagen. Dieſs ist zwar keine sichere Probe von ihrer absoluten Zuverlässigkeit, aber doch immer eine von ihrer Wahrscheinlichkeit. Künftige Versuche müssen hierüber weiter aufklären.

Digitized by Google

VIII. *Ueber das in Schlesien am 28. Sept. d. J. (1852) sichtbare Meteor.*

In der *Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur* hielt am 27. Oct. d. J. Hr. G. v. Boguslawski einen Vortrag *über das Meteor vom 28. Sept. d. J. und über die mit Feuerkugeln herabfallenden Substanzen.* Die Erscheinungen der Feuerkugeln bei Tage und hellem Sonnenschein sind verhältniſsmäſsig selten beobachtet worden. Den von Chladni und v. Hoff gesammelten Nachrichten hierüber sind noch hinzuzufügen die Erscheinungen 73 v. Chr., dann n. Chr. 925 April 27., 1547 im Mai, 1554 Juni 11. u. 13., 1832 Mai 20., 1833 März 18., 1831 Mai 15., 1836 Aug. 20., 1837 Aug. 5., 1838 Mai 18., 1839 Nov. 9., 1846 März 22., 1848 Jan. 27., 1851 Jan. 8., und Jan. 16., 1852 Sept. 28. Von der Wahrnehmung der letzteren Erscheinung hier in Breslau war von dem Vortragenden bereits vor einiger Zeit eine Beschreibung in den hiesigen Zeitungen veröffentlicht worden, verbunden mit einer Aufforderung zu weiteren Mittheilungen über dieselbe. Dieser Aufforderung ist von so vielen Seiten und auf so bereitwillige Weise entsprochen worden, daſs Nachrichten über dieses Meteor von 35 verschiedenen Orten haben gesammelt werden können, deren Ergebnisse im Einzelnen mitgetheilt wurden. Es sind dieſs auſser Breslau die Orte: Patschkau, Pschow, Turawa bei Oppeln, Lubschau bei Lublinitz, Stoberau bei Brieg, Scalung bei Constadt, Krickau bei Namslau, Minken zwischen Ohlau und Bernstadt, Wartenberg, Kierzno bei Kempen, Kurow und Skalmierzyce bei Ostrowo, Zmislow und Sosnica bei Krotoszyn, Kawicz bei Bojanowo, Posen, Guhrau, Groſs-Glogau, Schlaupp und Schuder bei Winzig, Klein-Rinnersdorf bei Lüben und Umgegend, Görlitz, Lauban, Goldberg, Hirschberg, Straupitz bei Hirschberg, Fischbach, Dyhrnfurth, Neukirch bei Breslau. Einen Meteorstein aufzufinden ist bisher nicht gelungen, doch spricht für die

Digitized by Google

auſsergewöhnliche Gröſse und Helligkeit des Meteors die Ausdehnung, über die hin es gesehen worden ist, von beinahe drei Breitegraden und anderthalb Längengraden. Durch eine Mittheilung aus Klein-Rinnersdorf veranlaſst, wo sich noch mehr Umstände als an anderen Orten vereinigten, um das Niederfallen der Feuerkugel für sehr nahe zu halten, hatte der Vortragende eine Reise dahin unternommen, ohne daſs jedoch die Bemühungen zu einem Resultate führten. Es scheint, daſs das Meteor im Posenschen niedergefallen ist, da man in Posen dasselbe in südwestlicher, an fast allen andern Orten dagegen in nördlicher oder nordöstlicher Richtung sah: so daſs die meiste Wahrscheinlichkeit sich für die Gegend zwischen Bojanowo, Winzig und Posen darbietet. Die Zeitangabe ist an allen Orten nahezu übereinstimmend; nach einer Ermittelung des Hrn. Pfarrer Oswald zu Neukirch bei Breslau fand die Erscheinung um $8^h 28'$ mittl. Breslauer Zeit statt. Man beobachtete dieselbe überall bei völlig heiterm Himmel und hellem Sonnenschein. Der Feuerkugel folgte ein langer mit ihr verbundener Schweif. Eine Explosion ist nirgends, auſser in Hirschberg, vernommen worden. Die Höhe, in welcher das Meteor zuerst aufgeleuchtet ist, muſs bei der weiten Ausdehnung seiner Sichtbarkeit sehr bedeutend gewesen seyn, doch konnte dieselbe aus Mangel an genauen Angaben darüber nicht bestimmt werden. Auch die scheinbare Höhe war an den meisten Orten beträchtlich und die Richtung der Bewegung mehr oder weniger gegen den Horizont geneigt. Hr. v. Boguslawski bemerkte noch, daſs auch an den Abenden vor und nach dem 28. Sept. mehrere Erscheinungen ähnlicher Art wahrgenommen worden sind, so Sept. 26., Oct. 6., 10., 11., 16., knüpfte auch einige Bemerkungen über die relative Häufigkeit der Feuerkugeln in den verschiedenen Monaten daran an, und legte eine darauf bezügliche Uebersichtstabelle vor. Derselbe deutete schlieſslich auf die Möglichkeit hin, daſs mit der Feuerkugel vom 28. Sept. eine solche Substanz niedergefallen seyn könne, welche bald nachher von Luft und Sonne aufgezehrt wor-

Digitized by Google

den sey, über welche Substanzen meist nur sehr unsiche Nachrichten vorhanden sind, die noch vielfach der Sichtu bedürfen.

IX. *Nicht-Polarisation des Nordlichts.*

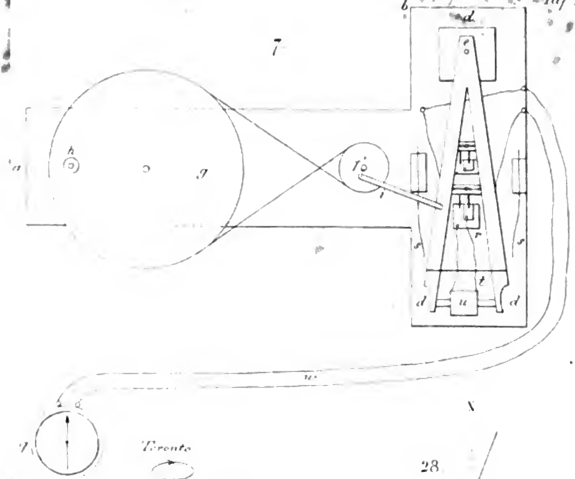
Im *Phil. Magazine* (1852, *Decemb.*) berichtet Hr. W. J. M Rankine, zu Glasgow, daſs er während der letzten ac Monate häufig das Licht der Nordlichter mit einem Nic untersucht, aber niemals eine Spur von Polarisation dara entdeckt habe. Zum Beweise, daſs dieſs nicht etwa Folg der Schwäche des Lichts gewesen sey, setzt er hinzu, da er einst dasselbe Licht, welches direct frei von aller Po larisation war, nach der Reflexion von der Oberfläche e nes Flusses, deutlich polarisirt gefunden habe. Die Tha sache der Nichtpolarisation des Nordlichts zeigt, daſs nicht von Eiskrystallen reflectirt wird.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

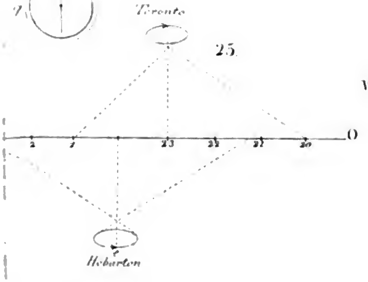
Digitized by Google

Taf. I.

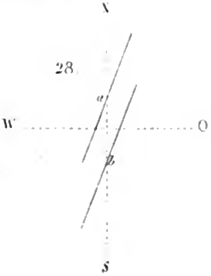
7.



25.

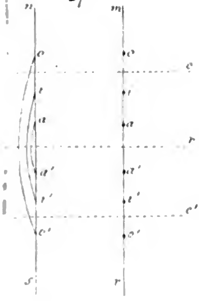


28.

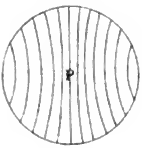


29.

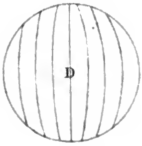
27.



23.



24.

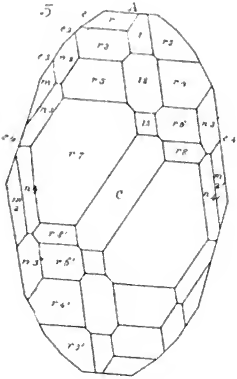


Digitized by Google

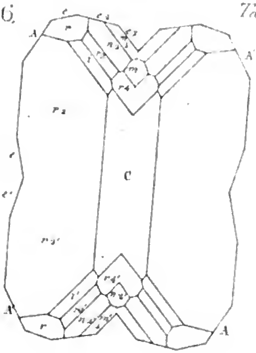
Digitized by Google

Taf. II

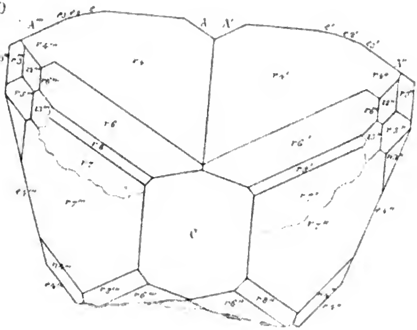
5.

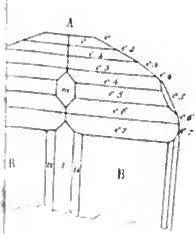


6.

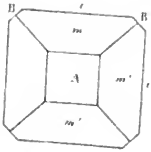


10.

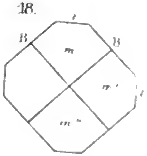




17.



18.



Ann. d. Phys. u. Chem. Ergänzungs Bd. III St. 2

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 6.

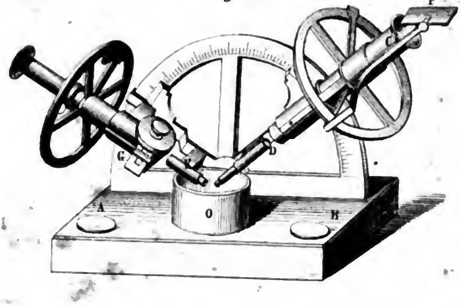
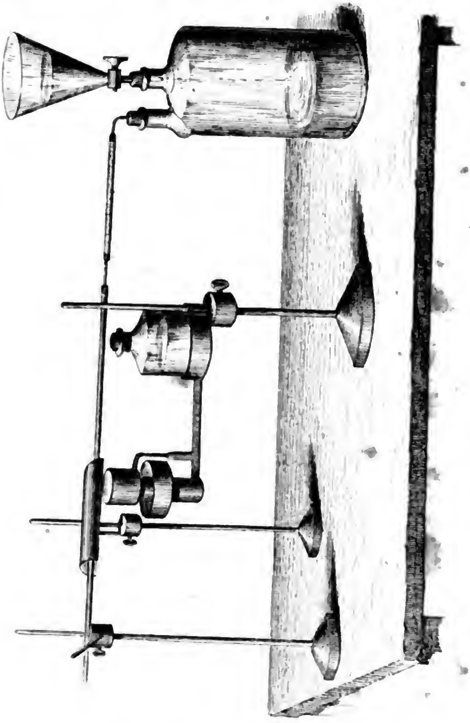


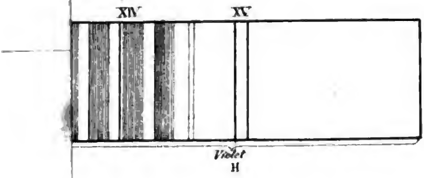
Fig. 7.



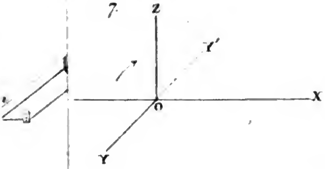
Digitized by Google

Digitized by Google

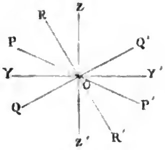
Taf. IV.



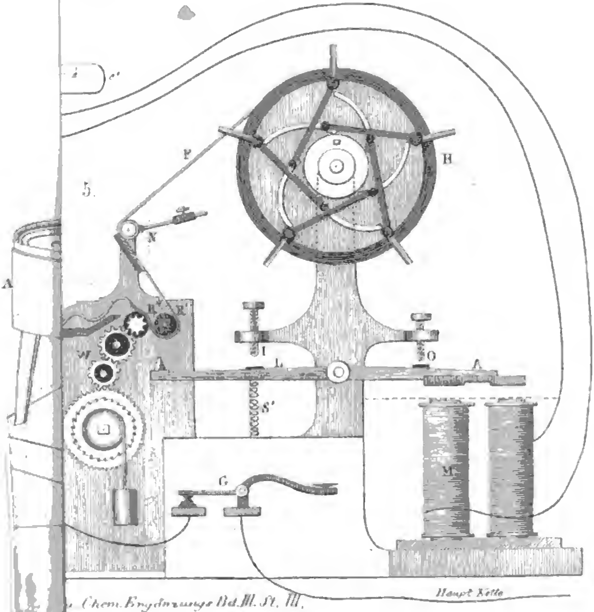
7



8



5.

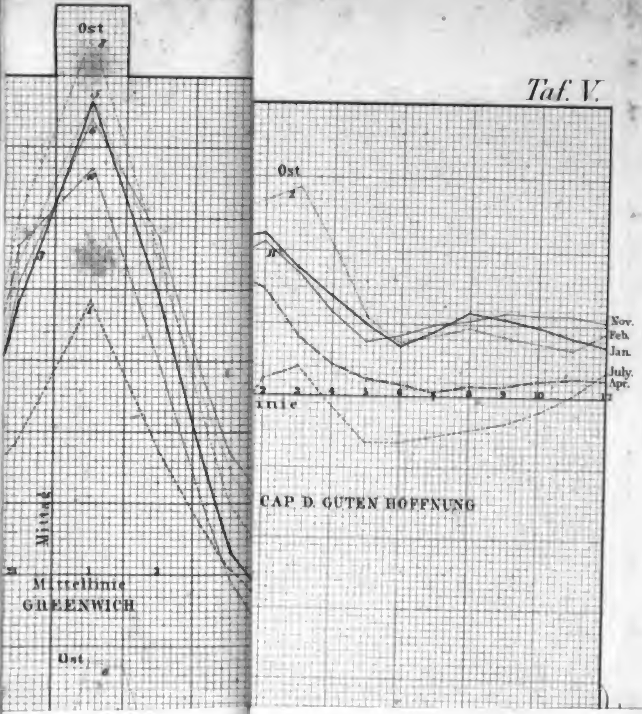


...Chem. Ergänzungs Bd. III. St. III.

Digitized by Google

Digitized by Google

Taf. V.



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

89048398531

b89048398531a